ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิและรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ที่ ทม 2002 /1521

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

14 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายชลวัฒน์ ศิริวาจา

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/1542

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

12 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายทัศนัย มีเฉลา

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/ 1543

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

13 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายวิโรจน์ สุวรรณรัตน์

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/1544

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

14 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายอุดมศักดิ์ ธัญญรักษ์

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย ได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่าน ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/1545

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

12 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นายทรงชัย จันทร์ประเสริฐ

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/ 1540

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

14 มิถุนายน 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน นางสาววราภรณ์ วงค์ไตรรัตน์

สิ่งที่ส่งมาด้วย เค้าโครงย่อวิทยานิพนธ์ และเครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการสร้างเครื่องมือเพื่อการวิจัย ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัยได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือ เพื่อการวิจัยของนิสิตในครั้งนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประทุม ม่วงมี)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินชุดการสอนและแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. นายชลวัฒน์ ศิริวาจา	ผู้ช่วยผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ วิทยาลัยเทคนิคตราด
2. นายทัศนัย มีเฉลา	หัวหน้าภาควิชาเครื่องมือกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ
3. นายวิโรจน์ สุวรรณรัตน์	อาจารย์ 3 ระดับ 8 สาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคราชบุรี
4. นายอุดมศักดิ์ ธัญญรักษ์	ศึกษานิเทศก์ 7 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา 1
4. นายทรงชัย จันทร์ประเสริฐ	หัวหน้างานวัดผลและประเมินผล วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี
6. นางสาววราภรณ์ วงค์ไตรรัตน์	หัวหน้างานวัดผลและประเมินผล วิทยาลัยเทคนิคระยอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ข

- แบบสอบถามสำหรับดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับข้อสอบ
- ตารางวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์
- แบบประเมินชุดการสอน
- ตารางแสดงผลการประเมินคุณภาพชุดการสอนจากผู้ทรงคุณวุฒิ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

<u>คำชี้แจง</u> แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์การสอน เรื่องโครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก

แบบสอบถามเพื่อการวิจัยนี้ เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยมีเนื้อหา 5 หัวข้อดังนี้

1. โครงสร้างอะตอม
2. โครงสร้างผลึก
3. ระนาบและทิศทางในผลึก
4. การเกิดผลึก
5. ข้อบกพร่องในผลึก

เกณฑ์การประเมิน

โดยผู้เชี่ยวชาญใส่ความคิดเห็นดังนี้

+1 = แน่ใจว่าข้อสอบวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ข้อนั้น

0 = ไม่แน่ใจว่าข้อสอบวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ข้อนั้นหรือไม่

-1 = แน่ใจว่าข้อสอบวัดไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ข้อนั้น

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

( )

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
<u>คำสั่ง</u> เลือกข้อที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว				
1. ข้อใดคือส่วนประกอบของนิวเคลียส	1			
ก. โปรตอน , นิวตรอน ค. นิวตรอน , อิเล็กตรอน				
ข. อะตอม , อิเล็กตรอน ง. โปรตอน , อิเล็กตรอน				
2. อนุภาคในข้อใดที่แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นบวก	1			
ก. นิวเคลียส ค. นิวตรอน				
ข. โปรตอน ง. อิเล็กตรอน				
3. อนุภาคในข้อใดที่แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นลบ	1			
ก. อิเล็กตรอน ค. นิวตรอน				
ข. โปรตอน ง. นิวเคลียส				
4. มวลของนิวตรอนหาได้จากข้อใด	1			
ก. น้ำหนักอะตอม + อะตอมมิกนัมเบอร์				
ข. น้ำหนักอะตอม – อิเล็กตรอน				
ค. น้ำหนักอะตอม – อะตอมมิกนัมเบอร์				
ง. น้ำหนักอะตอม – โปรตอน				
5. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบสิ่งใด	1			
ก. โปรตอน ค. นิวเคลียส				
ข. นิวตรอน ง. อะตอม				
6. วงโคจรชั้นในสุดมีชื่อตรงกับข้อใด	1			
ก. K – shell ค. O – Shell				
ข. M – Shell ง. P – Shell				
7. วงโคจรชั้นใดที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของธาตุมากที่สุด	1			
ก. K – shell ค. O – Shell				
ข. M – Shell ง. P – Shell				
8. ธาตุในข้อใดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมากที่สุด	2			
ก. Li, Na, Ca, Rb ค. Fe, Mn, Cr, V				
ข. B, Al, Ga, In ง. He, Mg, Ca, K				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
9. การจัดตัวของอะตอมในข้อใดทำให้เกิดสภาพที่ไม่สมดุล ก. รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น ข. นำอิเล็กตรอนไปใช้ร่วมกับอะตอมอื่น ค. เพิ่มจำนวนโปรตอน ง. ให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมอื่น	3			
10. การจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนของอลูมิเนียม(Al)จากชั้นในสุดไปสู่ชั้นนอกสุดข้อใด ก. 1, 2, 3 ค. 2, 8, 4 ข. 2, 4, 8 ง. 2, 8, 3	3			
11. การจัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอนของสังกะสี(Zn) จากชั้นในสุดไปสู่ชั้นนอกสุดข้อใด ก. 2, 8, 32, 2 ค. 2, 8, 18, 2 ข. 2, 8, 18, 4 ง. 2, 18, 8, 2	3			
12. การยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบใดที่มีประจุไฟฟ้าแตกต่างกัน ก. Ionic ค. Metallic ข. Covalence ง. Van der waal	4			
13. การยึดเหนี่ยวของอโลหะที่ทำให้สารที่ได้มีจุดเดือดสูง และจุดหลอมเหลวต่ำ ก. Ionic ค. Metallic ข. Covalence ง. Van der waal	4			
14. วัสดุที่นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี จะมีแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบใด ก. Ionic ค. Metallic ข. Covalence ง. Van der waal	4			
15. สารในข้อใดต่อไปนี้ที่มีโครงสร้างอสัณฐานทั้งหมด ก. ยาง,แก้ว,เกลือแกง ค. น้ำแข็ง,ก่อนหิน, พลาสติก ข. พลาสติก, ยาง,กำมะถัน ง. พลาสติก, แก้ว, ยาง	5			

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
16. ณ อุณหภูมิห้อง ข้อใดที่มีการเกาะตัวของอะตอมใกล้ชิดที่สุด ก. ยาง ค. พลาสติก ข. เซรามิก ง. แก้ว	5			
17. การจัดเรียงอะตอมเป็นกลุ่มก้อน ตัวแทนของผลึกทั้งก้อน เรียกว่าอะไร ก. Unit cell ค. Crystal Structure ข. Polycrystalline ง. Space lattice	5			
18. เมื่อโลหะแข็งตัว เป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมากมีชื่อเรียกว่าอะไร ก. Unit cell ค. Crystal Structure ข. Polycrystalline ง. Space lattice	5			
19. อะตอมในผลึก จัดเรียงตัวกันเป็นรูปทรงต่าง ๆ 3 มิติ เรียกว่า ก. Unit cell ค. Crystal Structure ข. Polycrystalline ง. Space lattice	5			
20. 3 มิติ หน่วยเซลล์จะครอบครองจุดแลททิซกี่ส่วน ก. 1/8 ส่วน ค. 1/4 ส่วน ข. 1/3 ส่วน ง. 1/6 ส่วน	5			
21. การแพ็คกิ้งของหน่วยเซลแบบใดที่พบได้มากที่สุดในโลหะ ก. Triclinic ค. Hexagonal ข. Tetragonal ง. Cubic	6			
22. ความยาวของหน่วยเซลทั้งสองด้านยาวเท่ากัน และตั้งฉากกับด้านที่เหลือ ($a = b \neq c$) มุมระหว่างด้านที่เท่ากันมีค่า 120 องศา ($\alpha = \beta = 90,^{\circ}\ \gamma = 120^{\circ}$) เป็นรูปทรงของหน่วยเซลแบบใด ก. Triclinic ค. Hexagonal ข. Orthorhombic ง. Monoclinic	6			

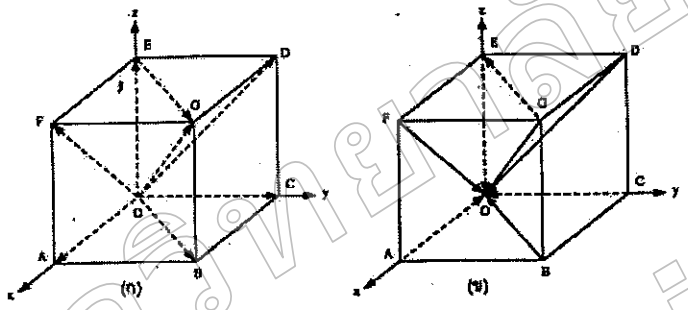
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
23. ลักษณะการเรียงตัวของ **P** ภายในหน่วยเซลล์ หมายถึงข้อใด ก. หน่วยเซลล์มีจุดกึ่งกลางของหน่วยเซลล์ ข. หน่วยเซลล์อยู่กึ่งกลางของฐาน ค. หน่วยเซลล์อยู่เฉพาะที่มุมเท่านั้น ง. หน่วยเซลล์ที่มีจุดกึ่งกลางทุกด้านของหน่วยเซลล์	6			
24. อักษรตัวใดแทนความหมายของหน่วยเซลที่มีลักษณะจุดกึ่งกลางอยู่ทุกด้านของหน่วยเซลล์ ก. C ค. R ข. I ง. F	6			
25. Cp 12 หมายถึงข้อใด ก. มีคาร์บอน จำนวน 12 อะตอม ข. หน่วยเซลล์มีจำนวนอะตอม 12 ตัว ค. น้ำหนักอะตอมของคาร์บอน 12 g ง. ค่าความอัดแน่นของคาร์บอนในหน่วยเซลล์เท่ากับ 12%	6			
26. เหล็ก (Fe) ณ อุณหภูมิห้องมีการแพ็คกิ้งของหน่วยเซลเป็นแบบใด ก. Body Center Cubic ค. Hexagonal Close Pack ข. Face Center Cubic ง. Tetragonal System	7			
27. ทอง (Au) ณ อุณหภูมิห้องมีการแพ็คกิ้งของหน่วยเซลเป็นแบบใด ก. Body Center Cubic ค. Hexagonal Close Pack ข. Face Center Cubic ง. Tetragonal	7			
28. ธาตุในข้อใดที่มีการแพ็คกิ้งของหน่วยเซลเป็นแบบ HCP ทั้งหมด ณ ที่ อุณหภูมิห้อง ก. Fe, Mo, Mn ค. Al, Cu, Ag ข. Ca, Co, Zn ง. Cu, Zn, Cr	7			

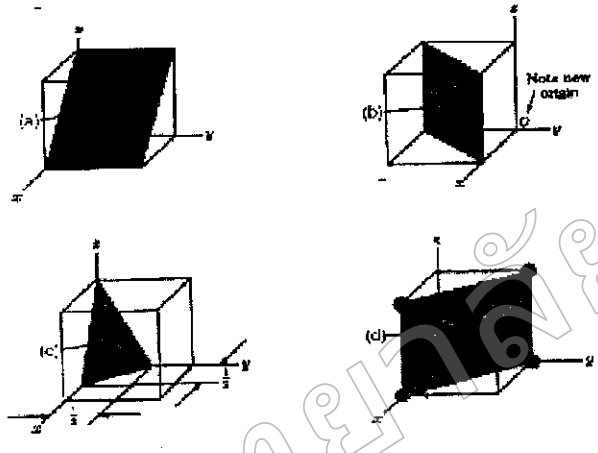
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
29. ธาตุในข้อใดที่มีการแพ็คกิ้งของหน่วยเซลเป็นแบบ FCC ณ ที่อุณหภูมิห้อง ก. Fe, Mo, Mn ค. Al , Cu, Ag ข. Ca, Co, Zn ง. Cu, Zn, Cr	7			
30. การแพ็คกิ้งของหน่วยเซลแบบใดที่สามารถแปรรูปได้ง่ายที่สุด ก. BCC ค. HCP ข. FCC ง. Tetragonal	8			
31. หน่วยเซลล์ BCC มีจำนวนอะตอมเท่าไร ก. 2 ค. 4 ข. 3 ง. 6	9			
32. ค่า APF ของ Fe ในหนึ่งหน่วยเซลล์มีค่าเท่าใด ก. 68% ค. 32% ข. 74% ง. 26%	9			
33. ค่า APF ของ Cu คิดได้เป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับช่องว่างระหว่างอะตอมในหน่วยเซลล์ ก. 68 : 32 ค. 32 : 68 ข. 74 : 26 ง. 26 : 74	9			
34. จำนวนอะตอมของ HCP ในหนึ่งหน่วยเซลล์มีกี่อะตอม ก. 2 ค. 6 ข. 4 ง. 8	9			
35. Octaheadral Plane ข้อใดกล่าวได้ถูกต้องที่สุด ก. ระนาบที่อัดแน่นกัน 8 ระนาบ ข. ระนาบจะมีหน่วยเซลล์ซึ่งกลายเป็นรูป 8 เหลี่ยม ค. ระนาบที่จัดวางสลับกันไปมา ง. ถูกทั้งข้อ ก และ ข	10			

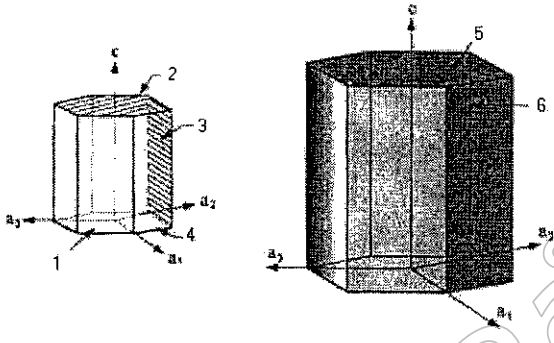
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
36. ข้อใดเป็นประโยชน์ของการหาทิศทางในระบบผลึกคือข้อใด	10			
ก. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ				
ข. เพื่อการหาระนาบของวัสดุ				
ค. เพื่อใช้เลือกวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม				
ง. เพื่อให้เห็นโครงสร้างของระบบผลึก				
<u>จากภาพด้านล่าง ใช้ตอบคำถามข้อ 37-40</u>				
				
37. ข้อใดบอกทิศทางของ OF ได้ถูกต้อง	11			
ก. [101] ค. 110				
ข. (101) ง. 101				
38. ข้อใดบอกทิศทางของ OD ได้ถูกต้อง	11			
ก. [110] ค. (110)				
ข. [111] ง. (111)				
39. $\bar{1}0\bar{1}$ เป็นทิศทางของข้อใด	11			
ก. BO ค. DO				
ข. FO ง. GB				
40. $\bar{1}\bar{1}0$ เป็นทิศทางของข้อใด	11			
ค. AO ค. GE				
ง. DO ง. BO				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
<u>จากภาพด้านล่าง ใช้ตอบคำถามข้อ 41 – 44</u>				
				
41. ดัชนีมิลเลอร์ของภาพ a คือข้อใด	12			
ก. 101 ค. 110				
ข. $1\bar{1}0$ ง. 100				
42. ดัชนีมิลเลอร์ของภาพ b คือข้อใด	12			
ก. 111 ค. 221				
ข. 101 ง. $1\bar{1}0$				
43. ดัชนีมิลเลอร์ของภาพ c คือข้อใด	12			
ก. 100 ค. 221				
ข. 110 ง. 231				
44. ดัชนีมิลเลอร์ของภาพ d คือข้อใด	12			
ก. 321 ค. 221				
ข. 632 ง. 631				

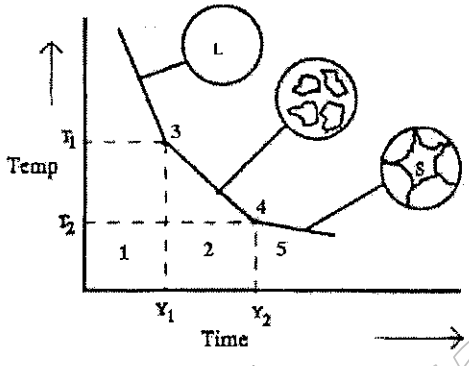
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
<u>จากภาพด้านล่าง ใช้ตอบคำถามข้อ 45 – 48</u>				
				
45. ดัชนีมิลเลอร์ (1010) หมายถึงข้อใด	13			
ก. 1 ค. 3				
ข. 2 ง. 4				
46. ดัชนีมิลเลอร์ (1100) หมายถึงข้อใด	13			
ก. 1 ค. 3				
ข. 2 ง. 4				
47. ดัชนีมิลเลอร์ (0001) หมายถึงข้อใด	13			
ก. 1 ค. 3				
ข. 2 ง. 4				
48. ดัชนีมิลเลอร์ (0001) หมายถึงข้อใด	13			
ค. 1 ค. 3				
ง. 2 ง. 4				
49. ข้อใดเรียง ลำดับขั้นการเกิดผลึกได้ถูกต้อง	14			
ก. นิวเคลียส → เดนไดรท์ → เกรน				
ข. เกรน → เดนไดรท์ → นิวเคลียส				
ค. เดนไดรท์ → เกรน → โพลีคริสตอล				
ง. นิวเคลียส → เดนไดรท์ → เดนไดรท์กราว์ด				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
50. ขบวนการเกิดผลึก Crystallization มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอย่างไร ก. Recrystallization ค. Decomposition ข. Solidification ง. Nucleation	14			
51. ข้อใดเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งเป็นสภาวะของแข็ง ก. Solidification ค. Sublimation ข. Recrystallization ง. Nucleation	14			
52. ข้อใดเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งเป็นสภาวะแก๊ส ค. Solidification ค. Sublimation ง. Recrystallization ง. Nucleation	14			
53. อนุภาคของโลหะจะหยุดการเคลื่อนที่ เมื่อใด ก. อุณหภูมิลดต่ำลง ข. อุณหภูมิต่ำลงอย่างรวดเร็ว ค. อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิวิกฤต ง. อุณหภูมิคงที่	15			
54. ข้อใดเมื่อผลึกเติบโตจนกระทั่งชนกันทุกกลุ่ม ทำให้เกิดผลึกขึ้นจำนวนมากมีขนาดรูปร่างกระจายตัวแตกต่างกัน ก. Grain ค. Dendritic Growth ข. Grain Boundary ง. Polycrystalls	15			
55. ข้อใดเมื่ออนุภาคหยุดการเคลื่อนที่เกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นของแข็งจุดเล็ก ๆ เป็นแกนกลางของผลึก ก. Nucleation ค. Grain ข. Dendritic ง. Polycrystal	15			

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
<u>จากภาพด้านล่าง ใช้ตอบคำถามข้อ 56 – 59</u>				
				
56. หมายเลข 1 คือข้อใด	16			
ก. สภาวะของเหลว				
ข. สภาวะของเหลว+ของแข็ง				
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว				
ง. อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว				
57. หมายเลข 2 คือข้อใด	16			
ก. สภาวะของเหลว				
ข. สภาวะของเหลว+ของแข็ง				
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว				
ง. อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว				
58. หมายเลข 3 คือข้อใด	17			
ก. สภาวะของเหลว				
ข. สภาวะของเหลว+ของแข็ง				
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว				
ง. จุดเริ่มสิ้นสุดการแข็งตัว				
59. หมายเลข 5 คือข้อใด	17			
ก. สภาวะของเหลว				
ข. สภาวะของเหลว+ของแข็ง				
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว				
ง. จุดสิ้นสุดการแข็งตัว				

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
60. เราเรียกเกรนที่มีขนาดเล็กเนื่องเกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วว่าอย่างไร ก. Fine Grain ค. Equi-axed Grain ข. Columnar Grain ง. Grain Boundary	18			
61. เกรนที่มีลักษณะยาวซึ่งเป็นไปตามทิศทางการเย็นตัวของน้ำโลหะคือเกรนชนิดใด ก. Fine Grain ค. Equi-axed Grain ข. Columnar Grain ง. Grain Boundary	18			
62. ข้อใดผิด ก. เกรนละเอียดจะมีความแข็งแรงกว่าเกรนหยาบ ข. เกรนละเอียดจะสามารถนำการแปรรูปได้ง่ายกว่า ค. เกรนหยาบมีขอบเกรนน้อยกว่า ง. เกรนหยาบแข็งแรงและแปรรูปได้ง่ายกว่า	18			
63. ข้อใดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลึกน้อยที่สุด ก. การหล่อ(Casting) ข. การขึ้นรูปร้อน(Forging) ค. การรีด(Rolling) ง. การกัด(Milling)	19			
64. ธาตุบริสุทธิ์มักพบข้อบกพร่องในลักษณะใด ก. ข้อบกพร่องที่เส้น ค. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า ข. ข้อบกพร่องจุด ง. ข้อบกพร่องที่ขอบ	20			
65. ข้อใดคือจุดบกพร่องที่เกิดจากอะตอมหายไปบางส่วน ก. Vacancy ข. Substitutional Impurit atom ค. Shottky Imperfection ง. Frenkel imperfection	20			
66. จุดว่างที่มีอะตอมของธาตุอื่นมาแทนที่ของธาตุหลัก เรียกว่าอะไร	20			

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
ก. จุดบกพร่องแทนที่ ค. อะตอมสารมลทินแทรกตัว ข. อะตอมแทนที่ ง. อะตอมสารมลทินแทนที่				
67. ข้อบกพร่องที่ประกอบด้วยจุดว่างและมีการแทรกตัวของอะตอมเรียกว่าอะไร ก. Frenkel imperfection ค. Substitutional impurity ข. Shottky imperfection ง. Interstitional impurty	20			
68. ลักษณะของ Shottky imperfection เป็นอย่างไร ก. อะตอมของสารมลทินเข้าแทนที่ ข. จุดว่างเกิดจากอิออนบวกร่วมกับอิออนลบรวมกัน ค. อะตอมของสารมลทินแทรกตัว ง. ข้อบกพร่องที่ประกอบด้วยจุดว่างและมีการแทรกตัวของอะตอม	21			
69. ข้อบกพร่องใดที่เกิดจากขอบระหว่างสองบริเวณซึ่งแต่ละบริเวณนั้นต่างก็มีความสมบูรณ์ในตัว แต่ทั้งสองบริเวณจะไม่มีความสัมพันธ์กัน ก. ข้อบกพร่องจุด ข. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า ค. ข้อบกพร่องที่เป็นเส้น ง. ข้อบกพร่องแบบ Stacking fault	21			
70. บริเวณส่วนกลางของผลึกได้เลื่อนไปส่วนบริเวณข้างนอกไม่มีการเลื่อนเกิดขึ้น ตรงกลางของระนาบเกิดเป็นระนาบเลื่อนเป็นลักษณะของข้อบกพร่องแบบใด ก. ข้อบกพร่องจุด ค. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า ข. ข้อบกพร่องที่เป็นเส้น ง. ข้อบกพร่องที่ขอบเกรน	21			
71. วัสดุที่ได้รับแรงดึงและแรงอัดจะเกิดระนาบเลื่อนรูปแบบใด ก. Edge dislocation ค. Lattice translation ข. Screw dislocation ง. Mixed dislocation	21			
72. วัสดุที่ได้รับแรงเฉือน จะเกิดระนาบเลื่อนรูปแบบใด	21			

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อสอบ	จุดประสงค์ข้อที่	ความคิดเห็น		
		+1	0	-1
ก. Edge dislocation ค. Twin dislocation ข. Screw dislocation ง. Mixed dislocation				
73. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด ก. ปริมาณเวคเตอร์ชนิดที่สองเป็นปริมาณที่บอกขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงเรียกว่า Burgers Vector ข. ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเวคเตอร์มีเครื่องหมายเป็นบวก ค. Burger Vector จะมีทิศทางไม่คงที่ ง. Lattice Vector จะต่อกันครบวงจรได้เมื่อมีการเกิด dislocation ขึ้น	22			
74. ข้อบกพร่องที่ผิวซึ่งมีการเรียงตัวแตกต่างกันแบ่งเป็นสองส่วน มีลักษณะคล้ายกับว่าส่วนหนึ่งเป็นเงาของอีกส่วนหนึ่ง เรียกว่าอะไร ก. Stacking ค. Twin boundaries ข. Twin dislocation ง. Grain boundaries	22			
75. Twin เกิดขึ้นเมื่อมีแรงในลักษณะใดกระทำ ก. แรงดึง ค. แรงดัด ข. แรงอัด ง. แรงเฉือน	22			
76. ข้อบกพร่องแบบใดเกิดขึ้นบริเวณที่ผลึก HCP เรียงตัวปะปนอยู่ในผลึก FCC ก. Stacking fault ค. Twin boundaries ข. Twin dislocation ง. Grain boundaries	22			

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อสอบที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC
		(คนที่1)	(คนที่2)	(คนที่3)		
1	1	0	1	1	2	0.67
	2	1	1	1	3	1
	3	1	1	1	3	1
	4	1	1	1	3	1
	5	1	1	1	3	1
	6	1	1	1	3	1
	7	1	1	1	3	1
2	8	1	1	1	3	1
3	9	0	1	1	2	0.67
	10	0	1	1	2	0.67
	11	1	1	1	3	1
4	12	1	1	1	3	1
	13	1	1	1	3	1
	14	1	1	1	3	1
5	15	1	1	1	3	1
	16	1	1	1	3	1
	17	1	1	1	3	1
	18	1	1	1	3	1
	19	1	1	1	3	1
	20	1	1	1	3	1
6	21	1	1	0	2	0.67
	22	1	1	0	2	0.67
	23	1	1	0	2	0.67
	24	1	1	1	3	1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อสอบที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC
		(คนที่1)	(คนที่2)	(คนที่3)		
	25	1	1	1	3	1
7	26	1	1	1	3	1
	27	1	1	1	3	1
	28	1	1	1	3	1
	29	1	1	1	3	1
8	30	1	1	1	3	1
9	31	1	1	1	3	1
	32	1	1	1	3	1
	33	1	1	1	3	1
	34	1	1	1	3	1
10	35	1	1	1	3	1
	36	1	1	1	3	1
11	37	1	1	1	3	1
	38	1	1	1	3	1
	39	0	1	1	2	0.67
	40	0	1	1	2	0.67
12	41	1	1	1	3	1
	42	1	1	1	3	1
	43	1	1	1	3	1
	44	1	1	1	3	1
13	45	1	1	1	3	1
	46	1	1	1	3	1
	47	1	1	1	3	1
	48	1	1	1	3	1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4 (ต่อ)

จุดประสงค์ข้อที่	ข้อสอบที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC
		(คนที่1)	(คนที่2)	(คนที่3)		
14	49	1	1	1	3	1
	50	1	1	1	3	1
	51	1	1	1	3	1
	52	1	1	1	3	1
15	53	1	1	1	3	1
	54	0	1	1	2	0.67
	55	0	1	1	2	0.67
16	56	1	0	1	2	0.67
	57	1	0	1	2	0.67
17	58	1	1	1	3	1
	59	1	1	1	3	1
18	60	1	1	1	3	1
	61	1	1	1	3	1
	62	0	1	1	2	0.67
19	63	1	1	1	3	1
20	64	0	1	1	2	0.67
	65	0	1	1	2	0.67
	66	0	1	1	2	0.67
	67	1	1	1	3	1
	68	1	1	1	3	1
21	69	1	1	1	3	1
	70	1	1	1	3	1
22	73	0	1	1	2	0.67
	74	1	1	1	3	1
	75	1	1	1	3	1
	76	1	1	1	3	1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วัตถุประสงค์

1. บอกส่วนประกอบของอะตอมได้
2. บอกคุณสมบัติของกลุ่มธาตุได้
3. เรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมได้
4. อธิบายลักษณะการยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบ Ironic,Covalence, Metallic Bode ได้
5. อธิบายลักษณะโครงสร้างอสัญฐานและของแข็งผลึกได้
6. อธิบายลักษณะของระบบผลึกต่าง ๆ ได้
7. บอกชนิดของวัสดุที่มีระบบผลึกแบบ BCC, FCC, HCP ได้
8. อธิบายคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อมีระบบผลึกแบบ BCC, FCC, และ HCP ได้
9. คำนวณหาค่าการอัดตัวของอะตอมในผลึก BCC ,FCC ,HCP ได้
10. บอกความสำคัญของการหาทิศทางและระนาบได้
11. ระบุทิศทางในระบบผลึกแบบ Cubic ได้
12. ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในผลึก Cubic ได้
13. ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในผลึกแบบ HCP ได้
14. อธิบายกระบวนการเกิดผลึกได้
15. อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์ได้
16. บอกความหมายของเฟสได้
17. อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะผสมได้
18. อธิบายการแข็งตัวของงานหล่อได้
19. บอกถึงสาเหตุของการทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลึกได้
20. อธิบายลักษณะข้อบกพร่องจุดได้
21. อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่เป็นเส้นได้
22. อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่ผิวหน้าได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5 แบบประเมินคุณภาพชุดการสอน

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			รวม	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข
		+1	0	-1		
1	<u>เนื้อหา/ใบความรู้</u> เนื้อหาเหมาะสมกับคำอธิบายรายวิชา	.....	.....	.....		....
2	เนื้อหาวิชาครอบคลุมวัตถุประสงค์การสอน	.....	.....	.....		....
3	เนื้อหาวิชาถูกต้อง	.....	.....	.....		....
4	การลำดับเนื้อหาเหมาะสม	.....	.....	.....		....
5	เนื้อหาความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	.....	.....	.....		....
6	รูปภาพประกอบชัดเจน	.....	.....	.....		....
	รวม					
7	<u>การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน</u> ความเหมาะสมของการนำเข้าสู่บทเรียน	.....	.....	.....		....
8	ความน่าสนใจของการจัดกิจกรรม	.....	.....	.....		....
9	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน					
10	การจัดกิจกรรมสนองต่อวัตถุประสงค์การเรียนรู้					
11	การใช้สื่อประกอบกิจกรรมการเรียนการสอนเหมาะสม	.....	.....	.....		....
12	ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีความเหมาะสม	.....	.....	.....		....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			รวม	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข
13	ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน	.....	.....	.....		....
	รวม					
14	<u>ชุดสื่อแผ่นใส</u> รูปภาพของแผ่นใสสอดคล้องกับเนื้อหา	.....	.....	.....		....
15	รูปภาพบนแผ่นใสมีขนาดเหมาะสม	.....	.....	.....		....
16	ความชัดเจนของตัวอักษร	.....	.....	.....		....
17	ความเหมาะสมของตัวอักษร	.....	.....	.....		....
18	มีความสะดวกต่อการใช้งาน	.....	.....	.....		....
19	จำนวนแผ่นใสเหมาะสมกับเนื้อหาวิชา	.....	.....	.....		....
	รวม					
20	<u>ชุดโมเดล/ของจริง</u> (หุ่นจำลอง) ครอบคลุมวัตถุประสงค์การสอน	.....	.....	.....		....
21	มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะกับการใช้งาน	.....	.....	.....		....
22	สีของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้มีผลต่อแรงจูงใจในการเรียน	.....	.....	.....		....
23	แสดงขั้นตอนการทำงานแทนของจริงได้ตามเนื้อหาการสอน	.....	.....	.....		....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			รวม	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข
24	วัสดุที่ใช้ทำโมเดลเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน	.....	.....	.....		....
	รวม					
25	<u>ชุดสื่อคอมพิวเตอร์</u> ความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	.....	.....	.....		....
26	เนื้อวิชาและนำเสนอถูกต้องเหมาะสม	.....	.....	.....		....
27	รูปภาพมีลักษณะเข้าใจก่อให้เกิดแรงจูงใจ	.....	.....	.....		....
28	เวลากับเนื้อหามีความเหมาะสม	.....	.....	.....		....
	รวม					
29	<u>แบบฝึกหัด</u> แบบฝึกหัดครอบคลุมวัตถุประสงค์การสอน	.....	.....	.....		....
30	คำถามชัดเจนเข้าใจง่าย	.....	.....	.....		....
31	ข้อคำถามเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	.....	.....	.....		....
32	รูปภาพในแบบฝึกหัดชัดเจน	.....	.....	.....		....
33	ข้อคำถามมีเป้าหมายตรงตามวัตถุประสงค์การสอน	.....	.....	.....		....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับความคิดเห็น			รวม	ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไข
34	จำนวนข้อของแบบฝึกหัดมีจำนวนเหมาะสม	.....	.....	.....		....
35	ระยะเวลาในการทำแบบฝึกหัดเหมาะสม	.....	.....	.....		....
รวม						

ข้อเสนอแนะ.....
.....
.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

( )

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 6 แสดงผลการประเมินคุณภาพชุดการสอนจากผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการ ข้อคำถาม	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC
		(คนที่1)	(คนที่2)	(คนที่3)		
ใบความรู้	1	1	1	1	3	1
	2	1	1	1	3	1
	3	1	1	1	3	1
	4	1	1	1	3	1
	5	0	1	1	2	0.67
	6	0	1	1	2	0.67
กิจกรรมการเรียนการสอน	7	1	0	1	2	0.67
	8	0	1	1	2	0.67
	9	1	0	1	2	0.67
	10	1	1	1	3	1
	11	1	1	1	3	1
	12	1	1	1	3	1
	13	0	1	1	2	0.67
ชุดสื่อแผ่นใส	14	0	1	1	2	0.67
	15	1	1	1	3	1
	16	0	0	1	1	0.33
	17	1	1	1	3	1
	18	1	1	1	3	1
	19	1	1	1	3	1
หุ่นจำลอง	20	0	1	1	2	0.67
	21	1	1	1	3	1
	22	1	1	1	3	1
	23	1	1	1	3	1
	24	1	1	1	3	1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รายการข้อคำถาม	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC
		(คนที่1)	(คนที่2)	(คนที่3)		
ภาพเคลื่อนไหวโดยใช้คอมพิวเตอร์	25	0	1	1	2	0.67
	26	1	1	1	3	1
	27	1	1	1	3	1
	28	1	0	1	2	0.67
แบบฝึกหัด	29	1	1	1	3	1
	30	1	1	1	3	1
	31	0	1	1	2	0.67
	32	0	1	1	2	0.67
	33	0	1	1	2	0.67
	34	0	1	1	2	0.67
	35	0	1	1	2	0.67

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ค

- การวิเคราะห์ข้อสอบ
  - ค่าความยากง่าย
  - ค่าอำนาจจำแนก
  - ค่าความเชื่อมั่น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ข้อสอบ

พิมพ์ข้อมูลวันที่ : 4/9/2002

หมายเลขการสอบ : 0000000060 วิชา : 31000117 จำนวนข้อสอบ : 76 พิมพ์ข้อมูลหน้าที่ : 1

ค่าดัชนีความยาก/ง่าย (Difficulty/EasinessIndex)

หมายเลขชุด : 1

ข้อที่	ดัชนีความยาก	ดัชนีความง่าย
1	0.200	0.800
2	0.233	0.767
3	0.333	0.667
4	0.600	0.400
5	0.167	0.833
6	0.367	0.633
7	0.467	0.533
8	0.867	0.133
9	0.333	0.667
10	0.733	0.267
11	0.500	0.500
12	0.733	0.267
13	0.333	0.667
14	0.233	0.767
15	0.467	0.533
16	0.600	0.400
17	0.633	0.367
18	0.733	0.267
19	0.400	0.600
20	0.633	0.367
21	0.333	0.667
22	0.667	0.333
23	0.667	0.333
24	0.567	0.433
25	0.800	0.200
26	0.467	0.533
27	0.700	0.300
28	0.767	0.233
29	0.567	0.433
30	0.833	0.167
31	0.567	0.433
32	0.867	0.133
33	0.400	0.600
34	0.633	0.367
35	0.300	0.700
36	0.767	0.233
37	0.633	0.367
38	0.767	0.233
39	0.233	0.767

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ข้อสอบ

พิมพ์ข้อมูลวันที่ : 4/9/2002

หมายเลขการสอบ : 0000000060 วิชา :31000117 จำนวนข้อสอบ : 76 พิมพ์ข้อมูลหน้าที่ : 2

ค่าดัชนีความยาก/ง่าย (Difficulty/EasinessIndex)

หมายเลขชุด : 1

ข้อที่	ดัชนีความยาก	ดัชนีความง่าย
40	0.467	0.533
41	0.567	0.433
42	0.567	0.433
43	0.400	0.600
44	0.500	0.500
45	0.700	0.300
46	0.400	0.600
47	0.667	0.333
48	0.867	0.133
49	0.600	0.400
50	0.867	0.133
51	0.633	0.367
52	0.767	0.233
53	0.467	0.533
54	0.600	0.400
55	0.733	0.267
56	0.533	0.467
57	0.567	0.433
58	0.567	0.433
59	0.267	0.733
60	0.667	0.333
61	0.600	0.400
62	0.400	0.600
63	0.767	0.233
64	0.167	0.833
65	0.433	0.567
66	0.500	0.500
67	0.900	0.100
68	0.733	0.267
69	0.467	0.533
70	0.733	0.267
71	0.333	0.667
72	0.500	0.500
73	0.700	0.300
74	0.467	0.533
75	0.700	0.300
76	0.567	0.433

การวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงกลุ่ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ข้อสอบ

พิมพ์ข้อมูลวันที่ : 4/9/2002

หมายเลขการสอบ : 0000000060 วิชา :31000117 จำนวนข้อสอบ : 76 พิมพ์ข้อมูลหน้าที่ : 3

ค่าสหสัมพันธ์แบบไบซีเรียล (Biserial Correllation)

หมายเลขชุด : 1 ค่าความแปรปรวน = 102.44889 ค่าเฉลี่ย = 33.53333

ข้อที่	P	q	y	คะแนนเฉลี่ยกลุ่มที่ทำแต่ละข้อถูก	ดัชนีค่าอำนาจจำแนก
1	0.80000	0.20000	0.2803	33.45833	-0.02115
2	0.76667	0.23333	0.3079	36.56522	0.74586
3	0.66667	0.33333	0.3637	34.15000	0.11168
4	0.40000	0.60000	0.3857	37.16667	0.37227
5	0.83333	0.16667	0.2516	35.20000	0.54539
6	0.63333	0.36667	0.3765	36.31579	0.46243
7	0.53333	0.46667	0.3977	37.50000	0.52555
8	0.13333	0.86667	0.2131	37.25000	0.22975
9	0.66667	0.33333	0.3637	35.20000	0.30183
10	0.26667	0.73333	0.3271	40.25000	0.54099
11	0.50000	0.50000	0.3989	35.13333	0.19814
12	0.26667	0.73333	0.3271	37.00000	0.27922
13	0.66667	0.33333	0.3637	36.80000	0.59158
14	0.76667	0.23333	0.3079	36.13043	0.63890
15	0.53333	0.46667	0.3977	38.81250	0.69945
16	0.40000	0.60000	0.3857	34.33333	0.08197
17	0.36667	0.63333	0.3847	38.81818	0.49765
18	0.26667	0.73333	0.3271	31.87500	-0.13357
19	0.60000	0.40000	0.3867	37.94444	0.67619
20	0.36667	0.63333	0.3847	35.00000	0.13811
21	0.66667	0.33333	0.3637	37.25000	0.67308
22	0.33333	0.66667	0.3621	32.30000	-0.11217
23	0.33333	0.66667	0.3621	41.00000	0.67908
24	0.43333	0.56667	0.3932	38.53846	0.54497
25	0.20000	0.80000	0.2780	38.66667	0.36486
26	0.53333	0.46667	0.3977	37.12500	0.47587
27	0.30000	0.70000	0.3467	39.55556	0.51484
28	0.23333	0.76667	0.3056	36.42857	0.21840
29	0.43333	0.56667	0.3932	37.76923	0.46121
30	0.16667	0.83333	0.2492	37.40000	0.25550
31	0.43333	0.56667	0.3932	31.15385	-0.25908
32	0.13333	0.86667	0.2131	32.25000	-0.07933

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ข้อสอบ

พิมพ์ข้อมูลวันที่ : 4/9/2002

หมายเลขการสอบ : 0000000060 วิชา :31000117 จำนวนข้อสอบ : 76 พิมพ์ข้อมูลหน้าที่ : 4

ค่าสหสัมพันธ์แบบไบซีเรียล (Biserial Correllation)

หมายเลขชุด : 1 ค่าความแปรปรวน = 102.44889 ค่าเฉลี่ย = 33.53333

ข้อที่	P	q	y	คะแนนเฉลี่ยกลุ่มที่ทำแต่ละข้อถูก	ดัชนีค่าอำนาจจำแนก
33	0.60000	0.40000	0.3867	37.83333	0.65916
34	0.36667	0.63333	0.3847	37.54545	0.37781
35	0.70000	0.30000	0.3485	35.38095	0.36665
36	0.23333	0.76667	0.3056	39.00000	0.41238
37	0.36667	0.63333	0.3847	41.27273	0.72879
38	0.23333	0.76667	0.3056	36.85714	0.25073
39	0.76667	0.23333	0.3079	35.00000	0.36081
40	0.53333	0.46667	0.3977	37.31250	0.50071
41	0.43333	0.56667	0.3932	40.00000	0.70410
42	0.43333	0.56667	0.3932	36.84615	0.36071
43	0.60000	0.40000	0.3867	37.00000	0.53142
44	0.50000	0.50000	0.3989	37.60000	0.50361
45	0.30000	0.70000	0.3467	39.44444	0.50534
46	0.60000	0.40000	0.3867	36.33333	0.42922
47	0.33333	0.66667	0.3621	40.20000	0.60632
48	0.13333	0.86667	0.2131	35.75000	0.13703
49	0.40000	0.60000	0.3857	36.66667	0.32104
50	0.13333	0.86667	0.2131	39.00000	0.33793
51	0.36667	0.63333	0.3847	34.90909	0.12955
52	0.23333	0.76667	0.3056	43.28571	0.73567
53	0.53333	0.46667	0.3977	39.18750	0.74913
54	0.40000	0.60000	0.3857	32.00000	-0.15711
55	0.26667	0.73333	0.3271	39.00000	0.44031
56	0.46667	0.53333	0.3973	36.85714	0.38572
57	0.43333	0.56667	0.3932	37.92308	0.47796
58	0.43333	0.56667	0.3932	39.53846	0.65385
59	0.73333	0.26667	0.3292	36.13636	0.57288
60	0.33333	0.66667	0.3621	35.20000	0.15158
61	0.40000	0.60000	0.3857	40.83333	0.74796
62	0.60000	0.40000	0.3867	38.50000	0.76136
63	0.23333	0.76667	0.3056	32.57143	-0.07256
64	0.83333	0.16667	0.2516	35.28000	0.57156

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิเคราะห์ข้อสอบ

พิมพ์ข้อมูลวันที่ : 4/9/2002

หมายเลขการสอบ : 0000000060 วิชา :31000117 จำนวนข้อสอบ : 76 พิมพ์ข้อมูลหน้าที่ : 5

ค่าสหสัมพันธ์แบบไบซีเรียล (Biserial Correllation)

หมายเลขชุด : 1 ค่าความแปรปรวน = 102.44889 ค่าเฉลี่ย = 33.53333

ข้อที่	P	q	y	คะแนนเฉลี่ยกลุ่มที่ทำแต่ละข้อถูก	ดัชนีค่าอำนาจจำแนก
65	0.56667	0.43333	0.3939	34.52941	0.14157
66	0.50000	0.50000	0.3989	37.60000	0.50361
67	0.10000	0.90000	0.1736	30.00000	-0.20109
68	0.26667	0.73333	0.3271	31.62500	-0.15371
69	0.53333	0.46667	0.3977	34.00000	0.06183
70	0.26667	0.73333	0.3271	34.37500	0.06779
71	0.66667	0.33333	0.3637	36.50000	0.53726
72	0.50000	0.50000	0.3989	37.40000	0.47884
73	0.30000	0.70000	0.3467	33.22222	-0.02660
74	0.53333	0.46667	0.3977	36.25000	0.35994
75	0.30000	0.70000	0.3467	40.44444	0.59083
76	0.43333	0.56667	0.3932	35.84615	0.25182

การวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงกลุ่ม

ค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson procedure)

หมายเลขชุด : 1 ค่า K.R. 20 = 0.85376

การวิเคราะห์ข้อสอบแบบอิงกลุ่ม

ค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson procedure)

หมายเลขชุด : 1 ค่า K.R. 21 = 0.82800

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 7 แสดงการวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและน้ำหนักคะแนนเพื่อออกข้อสอบ

พฤติกรรม / หัวข้อ	พุทธิพิสัย			รวม	อันดับความสำคัญ
	ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้		
1. โครงสร้างอะตอม	8	3	3	14	4
2. โครงสร้างผลึก	4	12	4	20	1
3. ทิศทางและระนาบในผลึก	2	-	12	14	3
4. การเกิดผลึก	2	12	-	14	2
5. ข้อบกพร่องในผลึก	1	13	-	14	5
รวม	17	40	19	76	

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและน้ำหนักคะแนนเพื่อคัดเลือกข้อสอบ

พฤติกรรม / หัวข้อ	พุทธิพิสัย			รวม	อันดับความสำคัญ
	ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้		
1. โครงสร้างอะตอม	5	3	1	9	4
2. โครงสร้างผลึก	4	7	3	12	1
3. ทิศทางและระนาบในผลึก	1	-	10	11	3
4. การเกิดผลึก	2	9	-	11	2
5. ข้อบกพร่องในผลึก	0	7	-	7	5
รวม	12	25	13	50	

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ง

- เอกสารขออนุญาตใช้สถานที่และกลุ่มตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ที่ ทม 2002/1771

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

5 กรกฎาคม 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาคุณภาพของเครื่องมือเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ มีความประสงค์ขออำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคการผลิต โดยผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง ระหว่างวันที่ 13 – 28 กรกฎาคม 2545

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บำเรอราช)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ที่ ทม 2002/1998

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

14 สิงหาคม 2545

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

สิ่งที่ส่งมาด้วย เครื่องมือเพื่อการวิจัย จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายเอกชัย หมื่นใจกล้า นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรการศึกษา-มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาชุดการสอนวิชาโลหะวิทยา เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึกสำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในความควบคุมดูแลของ รศ.ดร.พงศ์ประเสริฐ หกสุวรรณ ประธานกรรมการ มีความประสงค์จะขอความอนุเคราะห์จากท่าน เพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ โดยผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง ระหว่างวันที่ 20 - 30 สิงหาคม 2545

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บำเรอราช)
รองคณบดีฝ่ายบริหาร
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย
โทรศัพท์ 0-3874-5855
โทรสาร 0-3839-3466

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก จ

- คะแนนแบบฝึกหัด
- คะแนนแบบทดสอบ
- การหาประสิทธิภาพชุดการสอน

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางที่ 9 แสดงคะแนนจากการทำแบบฝึกหัดระหว่างเรียน (กลุ่มตัวอย่าง 3 คน)

คนที่	ตอนที่ 1 (9คะแนน)	ตอนที่2 (12คะแนน)	ตอนที่3 (11 คะแนน)	ตอนที่4 (11คะแนน)	ตอนที่5 (7 คะแนน)	รวม 50 คะแนน
1	3	5	4	3	4	19
2	4	4	4	6	5	23
3	4	3	4	5	4	20
รวม	11	12	12	14	13	62

ตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอนกับ (กลุ่มตัวอย่าง 3 คน)

คนที่	คะแนนแบบฝึกหัด 50 คะแนน	คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 50 คะแนน
1	19	20
2	23	24
3	20	21
คะแนนรวม	62	65
คะแนนเฉลี่ย	20.67	21.67
ร้อยละ	41.33 %	43.33 %

ประสิทธิภาพ = (คะแนนจากแบบฝึกหัด) / (คะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน)

$$= E_1/E_2$$

เมื่อ $E_1 = \frac{(\Sigma X/N)}{A} \times 100$

$$= \frac{(62/3)}{50} \times 100$$

$$E_1 = 41.33\ \%$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ $E_2 = \frac{(\sum X/N)}{B} \times 100$

$$\frac{(65/3)}{50} \times 100$$

$E_2 = 43.33\ \%$

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ตารางที่ 11 แสดงคะแนนจากการทำแบบฝึกหัดระหว่างเรียน (กลุ่มตัวอย่าง 6 คน)

คนที่	ตอนที่ 1 (9คะแนน)	ตอนที่2 (12คะแนน)	ตอนที่3 (11 คะแนน)	ตอนที่4 (11คะแนน)	ตอนที่5 (7 คะแนน)	รวม 50 คะแนน
1	7	10	5	7	6	35
2	7	9	6	7	5	34
3	5	9	9	8	4	35
4	8	10	5	5	5	33
5	7	9	10	5	4	35
6	5	12	9	8	6	40
รวม	39	59	44	40	30	212

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน (กลุ่มตัวอย่าง 6 คน)

คนที่	คะแนนแบบฝึกหัด 50 คะแนน	คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 50 คะแนน
1	35	28
2	34	33
3	35	30
4	33	35
5	35	33
6	40	35
คะแนนรวม	212	194
คะแนนเฉลี่ย	35.33	32.33
ร้อยละ	70.67 %	64.67 %

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประสิทธิภาพ = (คะแนนจากแบบฝึกหัด) / (คะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน)

$$= E_1 / E_2$$

เมื่อ $E_1 = \frac{(\sum X / N)}{A} \times 100$

$$= \frac{212/6)}{50} \times 100$$

$$E_1 = 70.67\ \%$$

เมื่อ $E_2 = \frac{(\sum X / N)}{B} \times 100$

$$\frac{199/6)}{50} \times 100$$

$$E_2 = 64.66\ \%$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 13 แสดงคะแนนจากการทำแบบฝึกหัดระหว่างเรียน (กลุ่มตัวอย่าง 30 คน)

คนที่	ตอนที่ 1 (9คะแนน)	ตอนที่2 (12คะแนน)	ตอนที่3 (11 คะแนน)	ตอนที่4 (11คะแนน)	ตอนที่5 (7 คะแนน)	รวม 50 คะแนน
1	8	9	8	7	6	38
2	9	10	10	9	6	44
3	8	8	7	9	5	37
4	9	10	7	9	6	41
5	9	10	10	9	6	44
6	9	11	10	9	7	46
7	8	9	9	8	5	39
8	8	10	10	9	7	44
9	8	11	11	10	5	45
10	9	11	10	10	6	46
11	9	10	9	8	5	41
12	8	10	11	10	6	45
13	8	11	11	7	5	42
14	7	9	9	8	6	39
15	7	9	10	8	6	40
16	9	10	11	9	7	46
17	8	10	8	10	7	43
18	7	11	9	9	6	42
19	9	10	9	8	6	42
20	7	11	10	10	7	45
21	7	9	8	10	6	40
22	8	9	9	8	6	40
23	9	7	8	9	7	40
24	8	10	6	8	7	40
25	7	9	8	9	6	39

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 12 (ต่อ)

คนที่	ตอนที่ 1 (9คะแนน)	ตอนที่2 (12คะแนน)	ตอนที่3 (11 คะแนน)	ตอนที่4 (11คะแนน)	ตอนที่5 (7 คะแนน)	รวม 50 คะแนน
26	9	11	8	10	6	44
27	9	11	11	10	7	48
28	7	10	10	9	5	41
29	7	10	8	10	7	42
30	8	12	10	10	7	47
รวม	243	298	275	269	184	1270
เฉลี่ย	7.47	9.93	9.19	8.97	6.13	42.33

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน (กลุ่มตัวอย่าง 30 คน)

คนที่	คะแนนแบบฝึกหัด 50 คะแนน	ร้อยละ	คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 50 คะแนน	ร้อยละ
1	38	76	36	72
2	44	88	45	90
3	37	74	43	86
4	41	82	41	82
5	44	88	45	90
6	46	92	39	78
7	39	78	38	76
8	44	88	45	90
9	45	90	44	88
10	46	92	42	84
11	41	82	44	88
12	45	90	46	92
13	42	84	46	92
14	39	78	35	70
15	40	80	40	80
16	46	92	41	82
17	43	86	42	84
18	42	84	46	92
19	42	84	45	90
20	45	90	43	86
21	40	80	41	82
22	40	80	43	86
23	40	80	40	80
24	40	80	42	84
25	39	78	38	76

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 14 (ต่อ)

คนที่	คะแนนแบบฝึกหัด 50 คะแนน	ร้อยละ	คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 50 คะแนน	ร้อยละ
26	44	88	42	84
27	48	96	44	88
28	41	82	42	84
29	42	84	45	90
30	47	94	41	82
รวม	1270	84.67	1264	84.27

ประสิทธิภาพ = (คะแนนจากแบบฝึกหัด) / (คะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน)

$$= E_1/E_2$$

เมื่อ $E_1 = \frac{(\sum X/N)}{A} \times 100$

$$= \frac{1270/30)}{50} \times 100$$

$$E_1 = 84.67\%$$

เมื่อ $E_2 = \frac{(\sum X/N)}{B} \times 100$

$$\frac{1264/30)}{50} \times 100$$

$$E_2 = 84.27\ \%$$

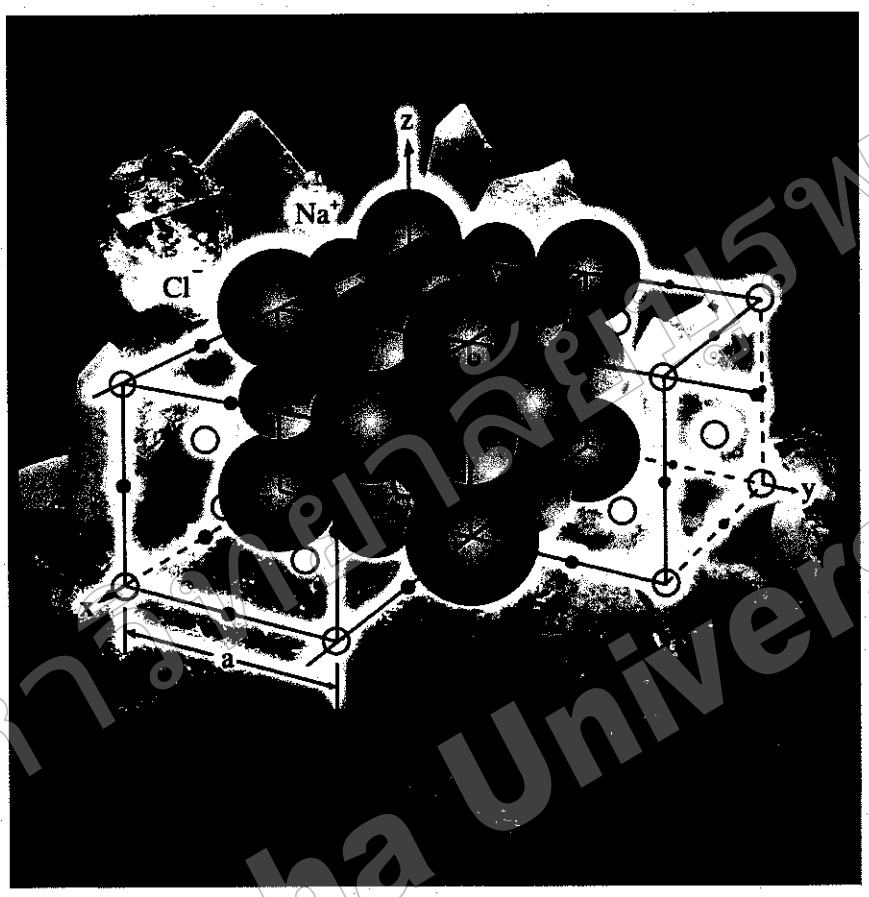
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ภาคผนวก ฉ

ชุดการสอน

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

คู่มือครู



เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก

(เวลา 8 คาบ)

ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคการผลิต

พุทธศักราช 2540 กรมอาชีวศึกษา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คำนำ

คู่มือครู ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับครูผู้ใช้ชุดการสอน วิชาโลหะวิทยา 3100-0117 เรื่อง โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) 2540 ในการจัดทำชุดการสอนฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อ อำนวยความสะดวกต่อครูผู้สอน ทำให้การดำเนินการสอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เท่าเทียมกันในมาตราฐานเดียวกัน และช่วยให้การเรียนการสอนบรรลุจุดมุ่งหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภายในประกอบด้วย คู่มือครู คำแนะนำการใช้ชุดการสอน แผนการสอน รายละเอียดของสื่อการสอน แบบฝึกหัด แบบทดสอบโดยมีเนื้อหาอยู่ 5 หัวเรื่อง ประกอบด้วย 1. โครงสร้างอะตอม 2. โครงสร้างของผลึก 3. ระนาบและทิศทางในผลึก 4. การเกิดผลึก และ 5. ข้อบกพร่องของผลึก โดยใช้เวลาในการสอนทั้งหมด 8 คาบเรียน

คู่มือครูชุดนี้ ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า จะทำให้ครูผู้สอนได้รับความสะดวกในการจัดการเรียนการสอนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ คุณภาพ การจัดการเรียน การสอนให้ผู้เรียนได้อย่างเท่าเทียมกันมากที่สุดทางหนึ่ง

เอกชัย หมื่นใจกล้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คู่มือครู

<u>คำชี้แจงทั่วไป</u>

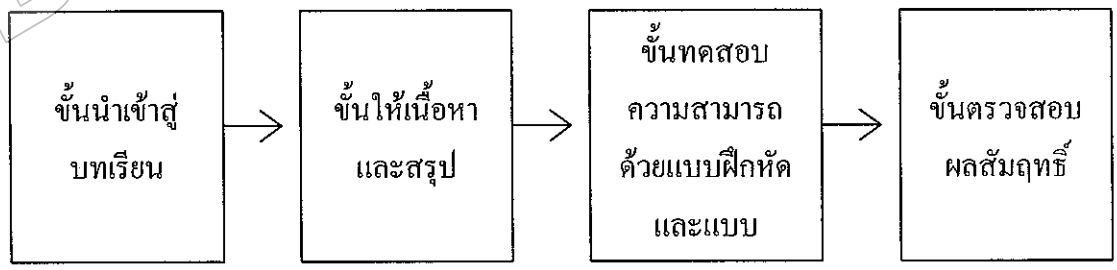
ชุดการสอนชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้สอนวิชาโลหะวิทยา 3100 – 0117 เรื่องโครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1. แผนการสอน
2. ใบความรู้
3. แผ่นใสแบบซ้อนภาพ
4. หุ่นจำลอง
5. คอมพิวเตอร์แสดงภาพเคลื่อนไหว
6. แบบฝึกหัดประจำหัวเรื่อง
7. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
8. กระดาษคำตอบแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

<u>คำแนะนำการใช้ชุดการสอน</u>

1. ขั้นเตรียมตัวก่อนสอน ครูฝึกสอนต้องศึกษาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม กิจกรรมการเรียนการสอน ใบเนื้อหาความรู้ และการทดสอบด้วยแบบฝึกหัด ตลอดจนเตรียมแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และกระดาษคำตอบ วิธีการใช้สื่อการเรียนการสอน

2. ขั้นดำเนินการสอน ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้



2.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ครูต้องชี้แจงการใช้ใบเนื้อหาความรู้และการทำแบบฝึกหัด แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2 ขั้นให้เนื้อหาและสรุปการเรียนการสอนต้องดำเนินไปตามลำดับหัวข้อเรื่องที่ได้วางแผนไว้ คือ

หัวเรื่องที่ 1 โครงสร้างอะตอม

หัวเรื่องที่ 2 โครงสร้างผลึก

หัวเรื่องที่ 3 ระนาบและทิศทางในผลึก

หัวเรื่องที่ 4 การเกิดผลึก

หัวเรื่องที่ 5 ข้อบกพร่องในผลึก

2.3 ขั้นทดสอบความสามารถด้วยแบบฝึกหัด เมื่อสอนจบในแต่ละหัวเรื่อง จะต้องให้ ผู้เรียนทำแบบฝึกหัด เพื่อทดสอบความก้าวหน้าทางการเรียน

2.4 เมื่อผู้สอนดำเนินการสอนสิ้นสุดลงแล้วให้ดำเนินการทดสอบโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 50 ข้อ

2.5 ครูผู้สอนต้องคอยตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไขการสอนแต่ละขั้น

3. ขั้นประเมินผล ครูผู้สอนตรวจสอบคะแนนจากแบบฝึกหัด เปรียบเทียบ กับคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้เกณฑ์ 80/80

<u>คำแนะนำในการใช้สื่อการเรียนการสอน</u>

1. วิธีใช้ใบเนื้อหาความรู้

ครูต้องแจกใบเนื้อหาความรู้ให้ผู้เรียนทุกคน ใช้อ่านประกอบการบรรยาย พร้อมทั้งแนะนำวิธีการใช้แก่ผู้เรียน

2. วิธีใช้แผ่นใส

ครูต้องศึกษาและเรียงลำดับแผ่นใสตามหัวเรื่อง และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ทั้งทดลองใช้ก่อนสอน โดยศึกษาลำดับการใช้จากแผนการเรียนการสอน พร้อมจัดเตรียมเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. วิธีใช้หุ่นจำลอง

ครูต้องจัดเตรียมหุ่นจำลองโดยศึกษาจากแผนการสอนและใช้ตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมในแต่ละหัวเรื่อง

4. วิธีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ครูต้องจัดเตรียมคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมแสดงภาพเคลื่อนไหวของโครงสร้างอะตอม โครงสร้างผลึก ทิศทางและระนาบในผลึก และข้อบกพร่องในผลึก และต้องศึกษาจากแผนการสอนและใช้ตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมในแต่ละหัวเรื่อง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

1. สาระสำคัญ

สารทุกชนิดจะประกอบด้วยหน่วยของมวลขนาดเล็ก ๆ เรียกว่าธาตุเคมีรวมตัวกันขึ้น ประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก ๆ ซึ่งอะตอมของแต่ละธาตุเคมีมีโครงสร้างใหญ่ คล้ายกัน แตกต่างกันที่รายละเอียดภายในเท่านั้น ดังนั้นในการกล่าวถึงโครงสร้างภายในของธาตุก็เหมือนกับการกล่าวโครงสร้างภายในของโลหะนั่นเอง โครงสร้างของธาตุที่สำคัญและมีขนาดเล็กสุด ซึ่งทำให้เกิดเป็นธาตุต่าง ๆ ขึ้นมาคือ อะตอม ดังนั้นจึงควรที่จะถูกนำมาอธิบายถึงเป็นอันดับแรก

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ โครงสร้างของอะตอมและการยึดเหนี่ยวของอะตอม รวมทั้งมีความสามารถจัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอน

2.2 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.2.1 บอกส่วนประกอบต่าง ๆของอะตอมได้

2.2.2 บอกคุณสมบัติของกลุ่มธาตุได้

2.2.3 จัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมได้

2.2.4 อธิบายลักษณะการยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบ Ionic, Covalenceและ Metallic ได้

3. ความรู้พื้นฐานที่ควรมีก่อนเรียน

คุณสมบัติของโลหะ

- คุณสมบัติทางกล
- คุณสมบัติทางเคมี
- คุณสมบัติทางฟิสิกส์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2 สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

3. **เนื้อหาสาระ**

4.1 ส่วนประกอบอะตอม

4.2 วงโคจรอิเล็กตรอน

4.3 ตารางธาตุ

4.4 พันธะอะตอม

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นนำ

ครู : ทบทวนเรื่องคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดและประเภทของธาตุ แต่ละธาตุจะมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือ เกิดจากการรวมตัวของอะตอมจำนวนหลาย ๆ อะตอม กลายเป็นผลึก หลาย ๆ เกรนรวมกันจนกลายเป็นเนื้อของวัสดุนั้น ๆ ดังนั้นสิ่งแรกที่ผู้เรียนจะต้องศึกษาให้เข้าใจก่อนก็คือ เรื่องของอะตอม เพราะจะมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุโดยตรงที่สุด พร้อมทั้งบอกวัตถุประสงค์ของการเรียนให้ผู้เรียนเข้าใจทั้งด้านเนื้อหาวิชา และคุณธรรมจริยธรรม ได้แก่ความมีมนุษย - สัมพันธ์ ความมีวินัย ความรับผิดชอบ และความสนใจใฝ่รู้

5.2 ขั้นให้ข้อมูล

ครู : ตั้งคำถาม"อะตอมประกอบด้วย"

นักศึกษา : ช่วยกันตอมคำถาม

ครู : แจกใบความรู้เรื่องโครงสร้างของอะตอมให้แก่ผู้เรียนพร้อมทั้งอธิบายส่วนประกอบของอะตอม(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 1-2 และใบความรู้หน้า 123-125)

ครู : อธิบายวงโคจรอิเล็กตรอน(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 1-2 และใบความรู้หน้า123-125)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า123-125)

ครู+นักศึกษา : ร่วมกันสรุป(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 1-2 และใบความรู้หน้า123-125)

ครู : อธิบายการจัดกลุ่มธาตุจากตารางธาตุ(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 3 และตารางธาตุที่ผนังห้องเรียน)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า 125-127)

ครู : ตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนได้ร่วมกันสรุปถึงคุณสมบัติของธาตุในแต่ละกลุ่ม(แผ่นใสที่ 3 และตารางธาตุที่ผนังห้องเรียน)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

นักศึกษา : ช่วยกันสรุป(ใบความรู้หน้า 123-127และตารางธาตุที่ผนังห้องเรียน)

ครู : อธิบายการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในอะตอมโดยอ้างอิงจากตารางธาตุ(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 4 และตารางธาตุที่ผนังห้องเรียน)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า 126-127 และตารางธาตุที่ผนังห้องเรียน)

ครู : ตั้งคำถามให้ผู้เรียนได้เขียนวงโคจรอิเล็กตรอนโดยการออกไปแสดงวิธีทำหน้าชั้นเรียนลงบนกระดาน(บันทึกคะแนนคุณธรรมฯในสมุดบันทึกคุณธรรมฯ)

นักศึกษา : ร่วมกันแสดงวิธีการเขียนวงโคจรอิเล็กตรอนลงบนกระดานหน้าชั้นเรียน

ครู : อธิบายลักษณะการยึดเหนี่ยวของอะตอมทั้ง 3 แบบ (ใช้สื่อแผ่นใสที่ 5และใบความรู้หน้า 127-129)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจจากใบความรู้ และซักถามปัญหา

ครู : ให้ผู้เรียนศึกษาใบความรู้

นักศึกษา : อ่านและทำความเข้าใจเนื้อหา

ครู+นักศึกษา : ร่วมกันทบทวนเนื้อหาที่เรียนผ่านมา(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 1-7 และใบความรู้หน้า 123-129)

5.3 ขั้นพยายาม

ครู : ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดที่ 2/1 โดยใช้เวลา 15 นาที

นักศึกษา : ทำแบบฝึกหัด

6. สื่อการเรียนการสอน

6,1 แผ่นใสแผ่นใสที่ 1-7

6.2 ใบความรู้ที่ 1 เรื่องโครงสร้างอะตอม

6.3 คอมพิวเตอร์แสดงการเคลื่อนที่ของอะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

7. การวัดและประเมินผล

7.1 เครื่องมือวัด : แบบฝึกหัด เรื่องโครงสร้างอะตอม

วิธีการวัด : นักศึกษาทำแบบฝึกหัด

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินผลความรู้ในเนื้อหา ตามเกณฑ์ที่กำหนด คะแนนที่ได้ต้องผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

7.2 เครื่องมือวัด : แบบสังเกตพฤติกรรมเกี่ยวกับคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิธีการวัด : สังเกตโดยผู้สอน

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบประเมิน

8. กิจกรรมเสนอแนะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 1

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ โครงสร้างของอะตอมและการยึดเหนี่ยวของอะตอม รวมทั้งมีความสามารถจัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอน

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 บอกส่วนประกอบต่าง ๆของอะตอมได้

2.2 บอกคุณสมบัติของกลุ่มธาตุได้

2.3 จัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมได้

2.4 อธิบายลักษณะการยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบ Ionic, Covalenceและ Metallic ได้

3. รายการสอน

3.1 ส่วนประกอบอะตอม

3.2 วงโคจรอิเล็กตรอน

3.3 ตารางธาตุ

3.4 พันธะอะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โครงสร้างอะตอม (Atomic Structure)

สารทุกชนิดจะประกอบด้วยหน่วยของมวลขนาดเล็ก ๆ เรียกว่า ธาตุเคมี (Chemical Element) รวมตัวกันขึ้น โดยที่ธาตุเคมีนี้ยังประกอบขึ้นด้วยอะตอมจำนวนมาก ๆ อะตอมของแต่ละธาตุเคมีมีโครงสร้างใหญ่ ๆ คล้ายกันแตกต่างกันที่รายละเอียดภายในเท่านั้น ธาตุเคมีที่มนุษย์รู้จักในปัจจุบันมีประมาณ 110 ธาตุเท่านั้น โดยที่ประมาณ 3 ใน 4 ของธาตุเคมีจัดเป็นโลหะธาตุ ดังนั้นในการกล่าวถึงโครงสร้างภายในของธาตุ ก็เหมือนกับการกล่าวโครงสร้างภายในของโลหะนั้นเอง โครงสร้างของธาตุที่สำคัญและมีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งทำให้เกิดเป็นธาตุต่าง ๆ ขึ้นมา คือ อะตอม ดังนั้น ควรที่จะถูกนำมาอธิบายถึงเป็นอันดับแรก

อะตอมเป็นอนุภาคที่เล็กของธาตุ ซึ่งไม่สามารถที่จะแบ่งแยกต่อไปได้อีก ธาตุทุกชนิดจะประกอบด้วยอนุภาคของอะตอมเป็นจำนวนมากมาย ธาตุต่าง ๆ จะมีอะตอมที่คล้ายคลึงกัน ต่างกันเพียงน้ำหนักอะตอม (Atomic Weight) เท่านั้น อะตอมของธาตุ จะประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กกว่าอะตอมอีก ได้แก่

1. โปรตอน (Proton) มีมวลประมาณ 1.673×10^{-27} กก. เป็นอนุภาคที่แสดงอำนาจไฟฟ้าบวกขนาด 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

2. นิวตรอน (Neutron) มีมวลหนักว่าโปรตอนเล็กน้อยคือ 1.675×10^{-27} กก. เป็นอนุภาคไม่มีประจุไฟฟ้า

3. อิเล็กตรอน (Electron) มีมวลประมาณ 1/1800 เท่าของมวลโปรตอน คือ ประมาณ 9.11×10^{-31} กก. เป็นอนุภาคประจุลบ ขนาดประจุเท่ากับโปรตอน

โปรตอน และนิวตรอน จะอัดตัวกันแน่น เรียกว่า นิวเคลียส อยู่กึ่งกลางของอะตอม ส่วนอิเล็กตรอน จะเคลื่อนที่อยู่ตามวงโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส เมื่ออะตอมเป็นอิสระ จำนวนอิเล็กตรอนจะเท่ากับโปรตอน น้ำหนักของโปรตอนรวมกับนิวตรอน จะเท่ากับน้ำหนักของอะตอม ส่วนจำนวนอิเล็กตรอน หรือโปรตอนที่มีอยู่ในอะตอม เรียกว่า อะตอมมิค นัมเบอร์ (Atomic Number)

ในอะตอมหนึ่งจะสามารถหาจำนวนนิวตรอน = น้ำหนักอะตอม – อะตอมมิค นัมเบอร์

อะตอมของแต่ละธาตุมีความแตกต่างกัน จำนวนโปรตรอนหรืออิเล็กตรอนของแต่ละธาตุดูได้จากอะตอมมิค นัมเบอร์ (Atomic Number,Z) ในตารางธาตุ จำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรจะมีได้กี่ตัวนั้นหาได้จาก สูตร $2n^2$ เมื่อ n เป็นตัวเลขบอกลำดับวงโคจรที่ 1, 2, 3….. โดยเริ่มจากวงในสุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ดังนั้นวงที่ 1 จะมีอิเล็กตรอนมากที่สุดไม่เกิน $2(1)^2 = 2$ ตัว วงที่ 2 มีได้ไม่เกิน $2(2)^2 = 8$ ตัว วงที่ 3 มีได้ไม่เกิน18 ตัว เรื่อยไป อันที่จริงแต่ละวงโคจรยังแบ่งระดับพลังงานของอิเล็กตรอนย่อยออกไปอีก

1. วงโคจรของอิเล็กตรอน

วงโคจรของอิเล็กตรอน หมายถึง วงโคจรของอิเล็กตรอนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน มีระยะที่แตกต่างกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะมีพลังงานที่แตกต่างกัน เรียกว่า เชลล์ (Shel) หรือออร์บิต (Orbit) ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนของทองคำ(Au)

ตารางที่ 2.1 วงโคจรของอิเล็กตรอน

วงโคจรชั้น	ชื่อ	จำนวนอิเล็กตรอน(ตัว
1 (ชั้นในสุด)	K – Shell	2 (ยกเว้น H_2)
2	L – Shell	8 ตัว
3	M – Shell	18
4	N – Shell	32
5	O – Shell	18
6	P – Shell	8

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อิเล็กตรอนในเชลล์ตัวนอกสุดเรียกว่า "วาเลนซ์อิเล็กตรอน" ซึ่งจะได้ไม่เกิน 8 ตัววงโคจรชั้นในสุดของอิเล็กตรอน (Inner Most) เรียกว่า K-Shell จะมีอิเล็กตรอน 2 ตัวเท่านั้น ยกเว้นไฮโดรเจนจะมี 1 ตัว ถ้าอิเล็กตรอนในเชลล์ต่าง ๆ มีครบจำนวน จะมีผลทำให้อะตอมเสถียรมาก (Stable) วงโคจรชั้นนอกสุด (P-Shell) ของแต่ละธาตุจะมีจำนวนอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว และเป็นเชลล์ที่สำคัญที่สุด

แสดงถึงวาเลนซี (Valency) ของอะตอมแต่ละธาตุ หรือที่เรียกว่า Valency Group หรือ Outer Valency Shell กลุ่มอิเล็กตรอนชั้นนอกสุด (P-Shell) เรียกว่า Valency Group จำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดเรียกว่า วาเลนซ์อิเล็กตรอน

ธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากัน จะมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน อะตอมของธาตุต่าง ๆ พยายามจะรวมตัวกันให้เป็นโมเลกุล เพื่อที่จะให้เสถียรยิ่งขึ้น ซึ่งต้องรวมตัวกันจนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว ยกเว้นไฮโดรเจนเท่านั้น

จะเห็นได้ว่าธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนไม่ครบ 8 ตัว จะมีผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาได้ดี ธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว จะทำปฏิกิริยาได้ช้ามาก ส่วนมากจะเป็นแก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เช่น ฮีเลียม (He) อาร์กอน (Ar) เป็นต้น

จำนวนเชลล์ของอิเล็กตรอนและจำนวนอิเล็กตรอนจะใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ โดยเฉพาะอิเล็กตรอนในชั้นนอกสุด (P-Shell) จะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของวัสดุมาก

การจัดตัวของอะตอม เพื่อให้เกิดสภาพที่สมดุล หรือเสถียรของอิเล็กตรอนวงนอกสุด อาจทำได้โดยวิธีการดังนี้

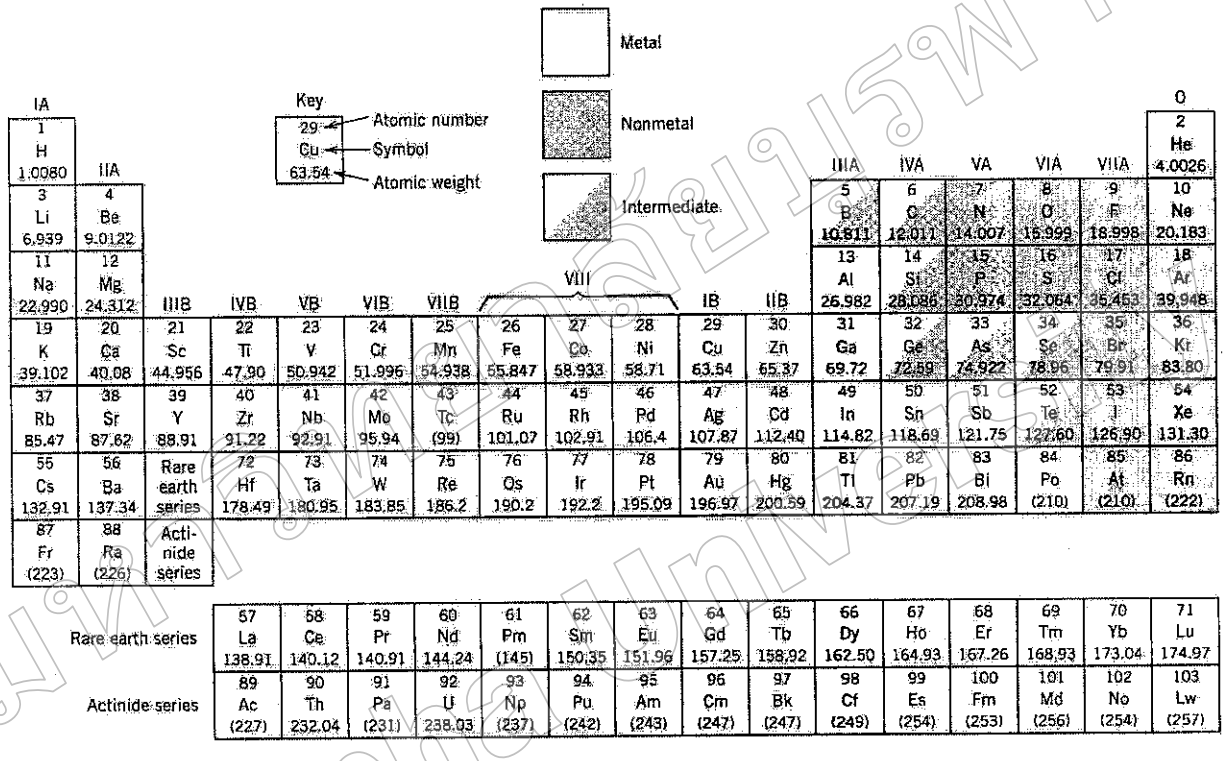
1. รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น
2. นำอิเล็กตรอนไปใช้ร่วมกับอะตอมอื่น
3. ให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมอื่น

2. ตารางธาตุ (Periodic table)

นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามจัดธาตุที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์คล้ายกันมาอยู่เป็นกลุ่มผู้ที่คิดเป็นตารางครั้งแรกคือ แมนตาลีฟ (Mandeleev) นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย เมื่อปี พ.ศ. 2412 periodic table เป็นตารางที่จำแนกธาตุต่าง ๆ ออกเป็นคาบ ๆ สะดวกในการศึกษาสมบัติของธาตุต่าง ๆ ธาตุที่มีสมบัติทางเคมีคล้ายกันจะอยู่เรียงกันตามแนวตั้ง (Group หรือ column) เช่น ธาตุ กรุ๊ป 7 ประกอบด้วย ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีนและไอโอดีน ต่างก็มีสมบัติคล้ายกัน ส่วนตามแนวนอน เรียกว่า (period) จะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เรียงตามลำดับของน้ำหนักอะตอมจากซ้ายไปขวา ในสมัยนั้นธาตุต่าง ๆ ยังไม่เป็นที่รู้จักมากนักใน ตารางธาตุจึงมีช่องว่างมากมาย และได้อาศัยประโยชน์ของตารางธาตุในการทำนายสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของธาตุที่ยังค้นไม่พบ ทำให้เกิดความสะดวกในการค้นคว้าวิจัยเป็นอันมาก



ตารางที่ 2.2 ตารางธาตุ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การจัดลำดับธาตุตามแนวนอน ทำให้รู้การจัดตัวของอิเล็กตรอนใน Shell (n) และใน Subshell (l) เช่น

●คาบที่ 1 มี H มีการจัดตัวของอิเล็กตรอนเป็น $1S^1$ และ He เป็น $1S^2$ คือมีอิเล็กตรอนวงโคจรที่ 1 และ l =0 เหมือนกัน

●คาบที่ 2 มีธาตุ Li มีอิเล็กตรอนถึง Shell ที่ 2 (n =2) เขียนได้เป็น $1s^2\ 2s,^1$ H และLi มีลักษณะคล้ายกันอยู่อย่างหนึ่งคือ มีอิเล็กตรอนในเชลล์นอกสุด 1 ตัว และเป็น Subshell s เหมือนกัน จึงจัดธาตุ H และ Li อยู่ในคอลัมน์เดียวกัน อิเล็กตรอนที่อยู่ในเชลล์ที่มีอิเล็กตรอนยังไม่ครบจำนวนเรียกว่า valence electron วาเลนซ์อิเล็กตรอนมีบทบาทสำคัญมากในเรื่องปฏิกิริยาเคมี ถัดจากนั้น คือ เบอร์รีลเลียม (Beryllium) มีอิเล็กตรอนใน subshell 2p และถัดไปเรื่อย ๆ ตามแกนนอน ธาตุที่มีอิเล็กตรอน

ครบ 8 ตัวที่ shell นอกสุดจะเป็นธาตุที่เสถียรมีปฏิกิริยาทางเคมีธาตุอื่น ๆ ได้น้อยเราเรียกกลุ่มนี้ว่า แก๊สเฉื่อย (Inert gas)

●คาบที่ 3 ธาตุโซเดียม มีการจัดตัวของอิเล็กตรอนดังนี้ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$ มีลักษณะคล้ายไฮโดรเจนและ ลิเธียม จึงจัดโซเดียมอยู่ในกลุ่มพวกนี้ พิจารณาถัดมาเป็น Mg, N,.... จึงถึง Ar อิเล็กตรอนใน subshell 3s และ 3p ครบ 8 ตัว อาร์กอนจึงเป็นแก๊สเฉื่อย

●คาบที่ 4 ถ้าพิจารณาดูในคาบนี้ ตามกฎ $2n^2$ shell ที่ 3 จะมีอิเล็กตรอนสูงสุดได้เพียง 18 เมื่อ subshell 3p มีอิเล็กตรอนครบ 6 ตัว อิเล็กตรอนน่าจะอยู่ใน subshell ถัดไป คือ 3d แต่การณ์ไม่เป็นดังนั้น เพราะ subshell 4s มีระดับพลังงานต่ำกว่า 3d ดังนั้น จึงอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่า อิเล็กตรอนจะเข้าอยู่ใน subshell 4s ก่อน เช่น โปรแตสเซียม (K) มีการจัดตัวของอิเล็กตรอนดังนี้ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6 4s^1$ มีลักษณะคล้ายกันกับการจัดตัวของอิเล็กตรอนของธาตุ H,Li และ Na จึงจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ถัดจาก K คือ Ca มีอิเล็กตรอนครบ 2 ตัวใน subshell 4s ธาตุถัดจาก Ca จะมีอิเล็กตรอนอยู่ใน subshell 3d ธาตุอิเล็กตรอนอยู่ใน shell ที่ 3 ตั้งแต่ 8 ตัวจนครบสูงสุด 18 ตัว เราเรียกธาตุพวกนี้ว่าเป็นธาตุทรานซิชั่น (Transition Element) แต่ละธาตุทรานซิชั่นจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างกันไป ท้ายสุดของคาบที่ 3 krypton (Kr, Z = 26) จะมีอิเล็กตรอนใน shell n = 4 อยู่ 8 ตัว จึงจัดอยู่ในกลุ่มแก๊สเฉื่อย

ตารางธาตุยังใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโลหะผสมที่ต้องการใช้ในกิจการใดกิจการหนึ่ง เฉพาะธาตุที่มีการจัดตัวของอิเล็กตรอนคล้ายกันสามารถใช้เป็นส่วนผสมแทนกันได้ในโลหะผสมโครเมียม หรือ โมลิบดินัม ใช้ผสมกับเหล็กกล้า (tool steel) แทนทังสตน เพื่อทำให้โลหะผสมมีความแข็งและทนอุณหภูมิสูง ๆ กำมะถันทำให้สมบัติทางกลของเหล็กดีขึ้น เราอาจใช้ซีเลเนียม และ Tellurium แทนกำมะถันก็ได้

3. การจัดกลุ่มธาตุ (Classification of elements)

การจัดกลุ่มธาตุทางเคมีอาจแบ่งได้หยาบ ๆ เป็น 3 กลุ่ม คือโลหะ (Metal) กึ่งโลหะ (metal และอโลหะ (Nonmetal) ธาตุที่เป็นโลหะสามารถจำแนกได้โดยอาศัยสมบัติ ดังนี้

1. อยู่ในสถานะของแข็งที่มีรูปผลึกแน่นอน
2. มีความสามารถในการยืดหยุ่นได้ดี
3. มีลักษณะเป็นมันวาวสะท้อนแสงได้มาก

พวกกึ่งโลหะ มีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างโลหะกับอโลหะ แต่นำไฟฟ้า และยืดหยุ่นได้น้อย

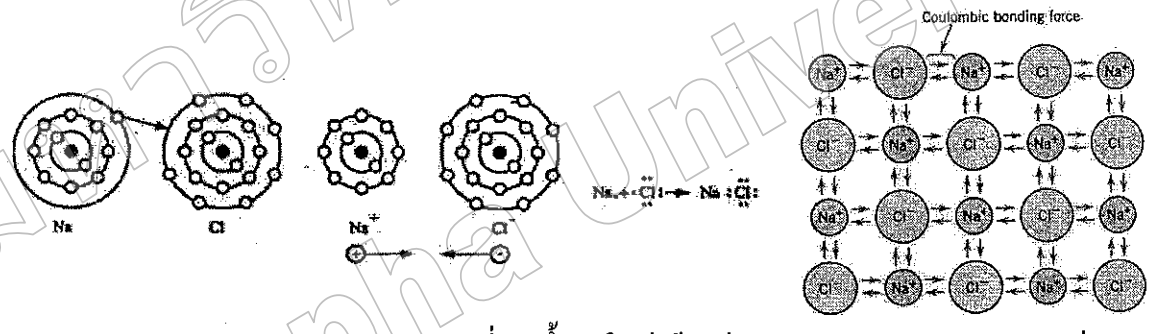
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปราะกว่าโลหะเช่น คาร์บอน โบรอน ซิลิคอน ส่วนธาตุที่เหลือ นอกจากนี้เป็นอโลหะ รวมทั้งพวกแก๊สเฉื่อย ธาตุในกรุ๊ป VIIA และ N, C และ S

4. พันธะอะตอม (Atomic Bonds)

โดยทั่วไปอะตอมจะจัดวางวาเลนซ์อิเล็กตรอน หรืออิเล็กตรอนชั้นนอกสุดไม่เกิน 8 ตัว จึงจะเสถียร (Stable) อยู่ได้ ดังนั้นจึงมีการยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของธาตุเกิดขึ้น การยึดเหนี่ยวของอะตอมธาตุต่าง ๆ แบ่งได้ ดังนี้

1. Electrovalence Bond หรือ Ionic Valence Bond เป็นการรวมตัวกันระหว่างประจุหรืออิออน (Ions) ที่ตรงข้ามกัน โดยที่อะตอมหนึ่งจะเป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอน (Transfer Electron) ให้กับอะตอมอีกตัวหนึ่ง ทำให้ตัวเองมีจำนวนอิเล็กตรอนลดน้อยลง จึงแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก เรียกว่า Positive Ion ออกมา ส่วนอะตอมที่ได้รับอิเล็กตรอนเข้าไปก็จะมีจำนวนอิเล็กตรอนมากขึ้น จะแสดง



ไฟฟ้าลบออกมา เรียกว่า Negative Ion สารที่เกิดขึ้นมาใหม่ เรียกว่า Electrovalence Compound เช่น การยึดเหนี่ยวของลิเธียม (Li) กับฟลูออไรด์ (F) จะกลายเป็น LiF

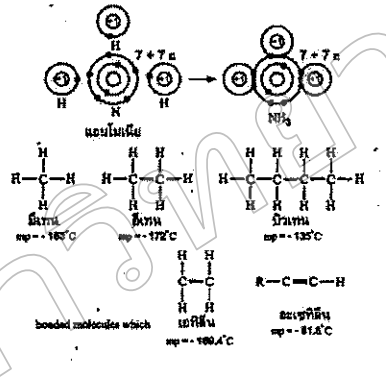
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการยึดเหนี่ยวของพันธะ Ionic Bond

ตัวอย่างการยึดเหนี่ยวของโซเดียม (Na) กับคลอไรด์ (Cl) จะได้ NaCl โดยโซเดียมจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนวงนอกสุด 1 ตัว ส่วนคลอไรด์มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนวงนอกสุด 7 ตัว จึงไม่เสถียร Na จึงจ่ายอิเล็กตรอนให้ Cl 1 ตัว ทำให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนของโซเดียมครบ 8 ตัว แต่จำนวนอิเล็กตรอนลดลง 1 ตัว จะแสดงอำนาจไฟฟ้าบวก (Positive Ion) ส่วน Cl จะมีอิเล็กตรอนเพิ่ม 1 ตัวจึงมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตัว จะแสดงอำนาจไฟฟ้าลบเมื่อ Na+ และ Cl- ซึ่งมีอำนาจไฟฟ้าต่างกัน จะทำให้เกิดการยึด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

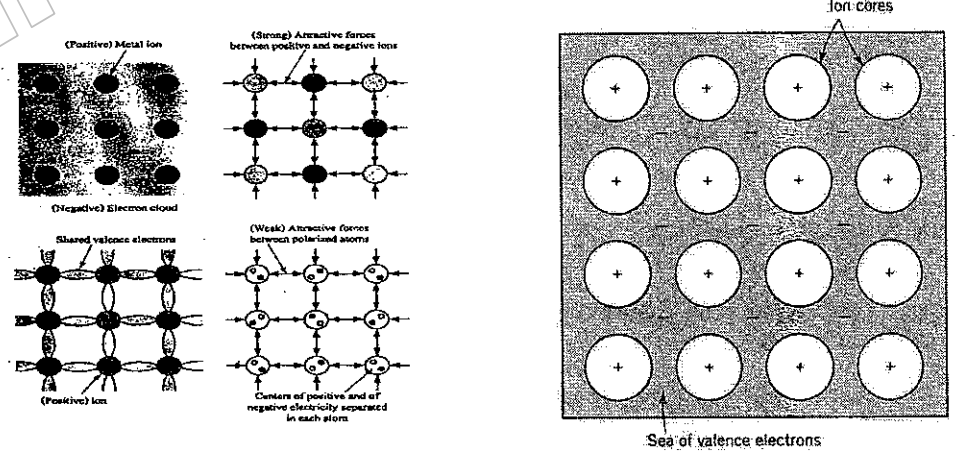
เหนี่ยวกันด้วยไฟฟ้าสถิต (Electro Static Force) เป็น NaCl ซึ่งสารนี้จะมีการยึดเหนี่ยวที่เปราะ เป็นตัวนำความร้อนที่เลว มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง

2. Covalence Bond บางที่เรียกว่า Homopolar Binding เป็นการยุดเหนี่ยวของอะตอมของธาตุที่แตกต่างกัน หรือชนิดเดียวกัน ส่วนมากจะเป็นพวกอโลหะ จะใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกันหรือแชร์กัน (Sharing Electron) โดยที่แต่ละอะตอมจะนำอิเล็กตรอนกันและกันมาใช้ร่วมกันเช่น การยึดเหนี่ยวของ H_2, Bi, CH_4, Cl_2, CO_2, CCl_4 เป็นต้น การยึดเหนี่ยวแบบนี้จะทำให้สารที่ได้มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อละลายในน้ำจะเป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า การตกผลึกจะใหญ่



ภาพที่ 2.3 การยึดเหนี่ยวของพันธะ Covalence Bond

3. Metallic Bond เป็นการยึดเหนี่ยวของอะตอมโลหะ ลักษณะการยึดเหนี่ยวคล้ายกับ Covalence Bond ต่างกันที่อะตอมทั้งหมดของโลหะที่กระจายอยู่ต่างแชร์อิเล็กตรอนให้ซึ่งกันและกัน ทำให้อิเล็กตรอนมีอิสระในการเคลื่อนที่ อะตอมของโลหะมักจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่จำนวนน้อย



ภาพที่ 2.4 การยึดเหนี่ยวของพันธะ Metallic Bond

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มีผลทำให้มักหลุดออกจากอะตอมได้ง่าย อิเล็กตรอนบางส่วนจึงยึดเหนี่ยวกับนิวเคลียสอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะจับกลุ่มอยู่รอบ ๆ อิออนบวก (อะตอมที่จ่ายอิเล็กตรอนวงนอกสุด) เรียกว่า Free Electron, Electron Cloud หรือ Electron Gas โดยจะเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา อะตอมที่ขาดอิเล็กตรอนวงนอกสุด จะเป็นอิออนบวก วัสดุประเภทนี้จึงประกอบด้วยกลุ่มประจุบวก (Positive Ion) และสลับกับกลุ่มประจุลบ (Negative Ion) ซึ่งจะดึงดูดกันและกันแบบ Static Attraction เรียกการยุดเหนี่ยวแบบนี้ว่า Metallic Bond การยึดเหนี่ยวแบบนี้มีผลทำให้เนื้อของโลหะมีอนุภาคในการนำไฟฟ้าความร้อน อ่อนเหนียว มีคุณสมบัติในการแปรรูปได้ดี และเมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบฝึกหัด ตอนที่ 2-1

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. อะตอมประกอบด้วย 1…….. 2…….. 3. ……..
2. อนุภาคของโปรตอนแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นอย่างไร……
3. ธาตุในหมู่ใดที่มีคุณสมบัติในด้านความแข็ง แกร่ง แวววาว ตีเป็นแผ่นบางได้ นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง……..
4. วงโคจรชั้นในสุดของอิเล็กตรอน เรียก…… มีอิเล็กตรอน จำนวน ……ตัว
5. จงเขียนภาพแสดงวงโคจรอิเล็กตรอนของเหล็ก(Fe)

6. ทองแดงมีเลขอะตอม 29 อิเล็กตรอนจะมีการจัดเรียงตัวกันดังนี้ ……
7. การจัดตัวของอะตอม เพื่อให้เกิดสภาพที่สมดุลทำได้ 3 วิธีการคือ
   1. ……..
   2. ……..
   3. ……..
8. วัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบ Ionic Bond จะมีคุณสมบัติอย่างไร

   ……
9. วัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบ Covalent Bond จะมีคุณสมบัติอย่างไร

   ……
10. วัสดุที่มีการยึดเหนี่ยวแบบ Metallic Bond จะมีคุณสมบัติอย่างไร

   ……

……..

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เฉลยแบบฝึกหัด ที่ 2-1

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. อะตอมประกอบด้วย <u>1.โปรตรอน 2.นิวตรอน 3. นิวเคลียส</u>
2. อนุภาคของโปรตอนแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นอย่างไร <u>เป็นบวก</u>
3. ธาตุในหมู่ใดที่มีคุณสมบัติในด้านความแข็ง แกร่ง แวววาว ตีเป็นแผ่นบางได้ นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง <u>หมู่ 1B-8B</u>
4. วงโคจรชั้นในสุดของอิเล็กตรอน เรียกว่า <u>K- Shell</u> มีอิเล็กตรอน จำนวน 2.ตัว
5. จงเขียนภาพแสดงวงโคจรอิเล็กตรอนของเหล็ก(Fe)

6. ทองแดงมีเลขอะตอม 29 อิเล็กตรอนจะมีการจัดเรียงตัวกันดังนี้ 2,8,18,1
7. การจัดตัวของอะตอม เพื่อให้เกิดสภาพที่สมดุลทำได้ 3 วิธีการคือ
   1. <u>รับอิเล็กตรอนจากอะตอมอื่น</u>
   2. <u>นำอิเล็กตรอนไปใช้ร่วมกับอะตอมอื่น</u>
   3. <u>ให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมอื่น</u>
8. วัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบ Ionic Bond จะมีคุณสมบัติ <u>นำความร้อนไม่ดี จุดหลอมเหลว</u>
9. วัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยวแบบ Covalent Bond จะมีคุณสมบัติ <u>จุดเดือดและจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อละลายในน้ำจะเป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า</u>
10. วัสดุที่มีการยึดเหนี่ยวแบบ Metallic Bond จะมีคุณสมบัติ <u>นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี</u>

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 120 นาที**

1. สาระสำคัญ

ในการเกาะตัวของอะตอมนั้นทำให้เกิดผลึกขึ้น ลักษณะของผลึกเมื่อรวมตัวกันเข้าจำนวนหลาย ๆ ผลึกทำให้เกิดเป็นลักษณะโครงสร้างของแข็งขึ้นและแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ของแข็งอสัณฐานและของแข็งผลึก ในการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของวัสดุ จึงต้องศึกษาถึงระบบโครงสร้าง ตำแหน่งที่อยู่ของอะตอมและการอัดตัวของอะตอม เพื่อสามารถที่จะนำวัสดุมาใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจในโครงสร้างผลึกและจำแนกประเภทของวัสดุได้ตามลักษณะทางโครงสร้างของผลึก

2.2 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.2.1 อธิบายลักษณะโครงสร้างอสัณฐานและของแข็งผลึกได้

2.2.2 อธิบายลักษณะของระบบผลึกต่าง ๆ ได้

2.2.3 บอกชนิดของวัสดุที่มีระบบการแพ็คกิ้งแบบ BCC, FCCและ HCP ได้

2.2.4 อธิบายคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อมีระบบการแพ็คกิ้งแบบ BCC, FCC, และ HCP ได้

2.2.5 คำนวณหาค่าการอัดตัวของอะตอมในระบบการแพ็คกิ้งแบBCC , FCC และHCP ได้

3. ความรู้พื้นฐานที่ควรมีก่อนเรียน

โครงสร้างอะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 120 นาที**

4. เนื้อหาสาระ

4.1 ของแข็งอสัณฐาน

4.2 ของแข็งผลึก

4.3 ระบบผลึก

4.4 ตำแหน่งของอะตอม

4.5 การอัดตัวของอะตอม

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นนำ

ครู : ทบทวนเนื้อหาของอะตอมโดยวิธีการถาม – ตอบ และอธิบายต่อเมื่ออะตอมมีการเกาะตัวจะยึดตัวเข้ากันจำนวนหลาย ๆ อะตอมก็จะเกิดเป็นผลึกขึ้นโดยการนำวัสดุที่เป็นของแข็งอสัณฐานและเป็นของแข็งผลึกให้ผู้เรียนดู พร้อมทั้งบอกวัตถุประสงค์ของการเรียนให้กับผู้เรียน

5.2 ขั้นให้ข้อมูล

ครู : แจกใบความรู้ที่ 2/2 และอธิบายลักษณะโครงสร้างผลึกที่เป็นของแข็งอสัณฐานและของแข็งผลึก พร้อมทั้งให้ผู้เรียนเปรียบเทียบความแตกต่างของทั้งสอง(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 8,ใบความรู้หน้า 137)

นักศึกษา : ฟังและช่วยกันเปรียบเทียบ

ครู : อธิบายลักษณะโครงสร้างของแข็งผลึก,สเปชแลททิช และลักษณะของผลึกแบบต่างๆ (ใช้สื่อแผ่นใสที่9-11,ใบความรู้หน้า138-139 และหุ่นจำลองของอะตอมในหน่วยเซล)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า 137-139)

ครู : สรุปโดยใช้คอมพิวเตอร์โดยให้ผู้เรียนร่วมกันสรุป ลักษณะการเกาะตัวของอะตอม

นักศึกษา : ร่วมกันสรุป(ใช้ใบความรู้หน้า 137-139)

ครู : ยกตัวอย่างวัสดุที่มีระบบการแพ็คกิ้งแบบ BCC,FCCและHCPพร้อมทั้งอธิบายถึงคุณสมบัติของวัสดุ(ใช้สื่อแผ่นใสที่12-14ตารางธาตุฯและของจริงได้แก่ เหล็ก,ทองแดง, สังกะสี)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า 137-139)

ครู : ให้ผู้เรียนช่วยกันสรุปคุณสมบัติของวัสดุตามลักษณะโครงสร้างผลึก

นักศึกษา : ช่วยกันสรุป(ใบความรู้หน้า 137-139)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 120 นาที**

ขั้นให้ข้อมูล(ต่อ)

ครู : อธิบายการอธิบายลักษณะเนื้อของอะตอมที่อัดแน่นอยู่ในผลึกทำให้มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุนั่นคือค่า APF พร้อมทั้งสาธิตการคำนวณหาค่า APF หน่วยเซล BCC (ใช้สื่อแผ่นใสที่ 15และใบความรู้หน้า 141-143 แผ่นกระดาน)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้และแผ่นกระดาน)

ครู : ให้ผู้เรียนแสดงวิธีการคำนวณหาค่า APF ของหน่วยเซล BCC โดยแบ่งกลุ่มผู้เรียนออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 1 ธาตุ การออกไปแสดงวิธีทำหน้าชั้นเรียนลงบนกระดาน(บันทึกคะแนนคุณธรรมฯลงในสมุดบันทึกคุณธรรมฯ)

นักศึกษา : ร่วมกันคำนวณ(ใบความรู้หน้า 141-143 และแผ่นกระดาน)

ครู : เฉลยและสรุปการคำนวณหาค่า APF ของหน่วยเซล FCC (ใช้สื่อแผ่นใสที่16,ใบความรู้หน้า 143-144และแผ่นกระดาน)

นักศึกษา : ทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(ใบความรู้หน้า 143-144และแผ่นกระดาน)

ครู : ให้ผู้เรียนแสดงวิธีการคำนวณหาค่า APF ของหน่วยเซล FCC โดยแบ่งกลุ่มผู้เรียนออกเป็น4 กลุ่มๆ ละ 1 ธาตุ การออกไปแสดงวิธีทำหน้าชั้นเรียนลงบนกระดาน (บันทึกคะแนนคุณธรรมฯลงในสมุดบันทึกคุณธรรมฯ)

นักศึกษา : ร่วมกันคำนวณ(ใบความรู้หน้า 143-144 และแผ่นกระดาน)

ครู : อธิบายสรุปและเปรียบเทียบค่า APFของหน่วยเซล BCC และFCC พร้อมทั้งการวิธีการหาจำนวนอะตอมในผลึก HCP

นักศึกษา : ฟัง ทำความเข้าใจและซักถามข้อสงสัย

ครู +นักศึกษา : ร่วมกันทบทวนเนื้อหาที่เรียนผ่านมา(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 8-16และใบความรู้หน้า 137-147)

5.3 ขั้นพยายาม

ครู : ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดที่ 2/2 โดยใช้เวลา 30 นาที

นักศึกษา : ทำแบบฝึกหัด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 120 นาที**

6. สื่อการเรียนการสอน

6.1 แผ่นใสแผ่นใสที่ 8-16

6.2 ใบความรู้ที่ 2 เรื่องโครงสร้างผลึก

6.3 หุ่นจำลอง

6.4 คอมพิวเตอร์แสดงโครงสร้างผลึก

7. การวัดและประเมินผล

7.1 เครื่องมือวัด : แบบฝึกหัด เรื่องโครงสร้างผลึก

วิธีการวัด : นักศึกษาทำแบบฝึกหัด

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินผลความรู้ในเนื้อหา ตามเกณฑ์ที่กำหนด คะแนนที่ได้ต้องผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

7.2 เครื่องมือวัด : แบบสังเกตพฤติกรรมเกี่ยวกับคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิธีการวัด : สังเกตโดยผู้สอน

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบประเมิน

8. กิจกรรมเสนอแนะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 2

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 120 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจในโครงสร้างผลึกและจำแนกประเภทของวัสดุได้ตามลักษณะทางโครงสร้างของผลึก

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 อธิบายลักษณะโครงสร้างอสัณฐานและของแข็งผลึกได้

2.2 อธิบายลักษณะของหน่วยเซลแบบต่าง ๆ ได้

2.3 บอกชนิดของวัสดุที่มีการแพ็กกิงแบบ BCC, FCCและ HCP ได้

2.4 อธิบายคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อมีการแพ็กกิงแบบ BCC, FCC, และ HCP ได้

2.5 คำนวณหาค่าการอัดตัวของอะตอมในหน่วยเซลที่มีการแพ็กกิงแบบ BCC , FCC และ HCP ได้

3. รายการสอน

3.1 ของแข็งอสัณฐาน

3.2 ของแข็งผลึก

3.3 ระบบผลึก

3.4 ตำแหน่งของอะตอม

3.5 การอัดตัวของอะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โครงสร้างผลึก(The Crystal Structure)

ในการเกาะตัวของอะตอมนั้นทำให้เกิดเป็นผลึกขึ้น ลักษณะของของผลึกนั้นเมื่อรวมตัวกันเข้าจำนวนหลาย ๆ ผลึกทำให้เกิดลักษณะเป็นโครงสร้างของแข็ง(Structure of Solid) ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

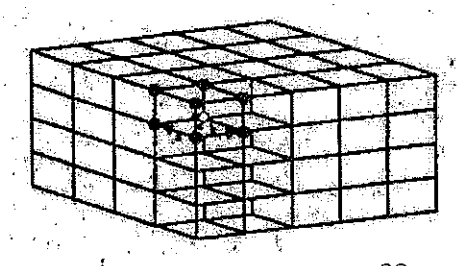
1. ของแข็งอสัณฐาน(Amorphous)
2. ของแข็งผลึก(Crystalline)

● ของแข็งอสัณฐาน(Amorphous) อะตอมโครงสร้างอสัณฐานเป็นโครงสร้างที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมที่ไม่แน่นอน ไม่เป็นระเบียบ หรือบางครั้งอาจเรียงตัวเป็นระเบียบแน่นอนในช่วงสั้น ๆ โดยไม่ซ้ำเหมือนกันตลอด วัสดุที่มีโครงสร้างอสัณฐาน ได้แก่ ถ่าน ยาง แก้ว และพลาสติก วัสดุเหล่านี้จะไม่เป็นของแข็งที่แท้จริง แต่จะเป็นของเหลวหนืด นั่นคือ เผาแล้วจะไม่ละลายแต่ละลดความหนืดลงและมีสภาพคล้ายของเหลวมากขึ้น

● ของแข็งผลึก(Crystalline) เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมหลาย ๆ อะตอมเข้าด้วยกันเป็นผลึก (Crystal) คำว่า โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) หมายถึง การจัดเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบเหมือนกันเชื่อมโยงต่อกัน เป็นรูปโครงข่ายแบบสามมิติและเป็นโครงข่ายที่ขยายต่อไปได้ไม่มีที่สิ้นสุด หน่วยหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวแทนของผลึกทั้งก้อนนั้นเรียกว่า หน่วยเซลล์ (Unit Cell) ลักษณะการจัดตัวของอะตอมของธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ถ้านำหน่วยเซลล์หลาย ๆ หน่วยเซลล์มาวางซ้อนกันออกไปทั้ง 3 ทิศทางก็จะทำให้ได้โครงสร้างผลึกของสารนั้น ๆ อนุภาคที่จัดเรียงตัวกันในหน่วยเซลล์อาจจะเป็นอะตอม อิออน หรือโมเลกุลก็ได้

เมื่อโลหะแข็งตัวจะเป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมากเรียกว่า Polycrystalline หรือเกรน ซึ่งต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ส่องดู จึงจะมองเห็นได้ชัดเจน เพราะมีขนาดเล็กมาก โครงสร้างพื้นฐานภายในเกรนซึ่งมีอะตอมจัดเรียงตัวกันเป็นผลึก เรียกว่า โครงผลึก หรือโครงสร้างผลึก (Crystal Structure) อะตอมในของผลึกจะจัดเรียงตัวกันเป็นรูปทรงต่าง ๆ ใน 3 มิติ ซึ่ง เรียกว่า คริสตัลแลททิช (Crystal Lattice) หรือสเปซ แลททิช (Space Lattice)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2.5 แสดง Space Lattice 3มิติ

จากรูป สเปซ แลททิซ เป็นแบบ 3 มิติ โดยมีเวคเตอร์ a b และ c เป็นหน่วยเวคเตอร์รูปทรงลูกบาศก์ คือ หน่วยเซลล์ แต่ละหน่วยเซลล์จะสัมผัสกับจุดแลททิซ 8 จุด (เพราะมี 8 มุม) แต่ละมุมจะเฉลี่ยจุดแลททิซกับหน่วยเซลล์อื่นรวม 8 หน่วยเซลล์ ถ้าขยายหน่วยเซลล์ไปเรื่อย ๆ จะเห็นการเฉลี่ยจุดแลททิซได้ชัดเจนแต่ละหน่วยเซลล์จะมีสิทธิ์ครอบครองจุดแลททิซมุมละหนึ่งหน่วยเซลล์มี 8 มุม จึงมีจุดแลททิซเท่ากับ 1 จุด (1/8 × 8) เพื่อให้เข้าใจถึงของแข็งผลึก(Crystalline) อย่างละเอียดจึงต้องศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ระบบผลึก (Crystal System)

ระบบโครงสร้างผลึก สามารถจัดเรียงตัวอะตอมลงในสเปซ แลททิซได้ 14 แบบ แต่ใน 14 แบบนี้ สามารถจัดรวมกลุ่มเป็นพวก ๆ โดยพิจารณาถึงรูปร่างของผลึกได้เป็น 7 ระบบ คือ

1. Triclinic
2. Monoclinic
3. Orthorhombic
4. Tetragonal
5. Hexagonal
6. Rhombohedral
7. Cubic

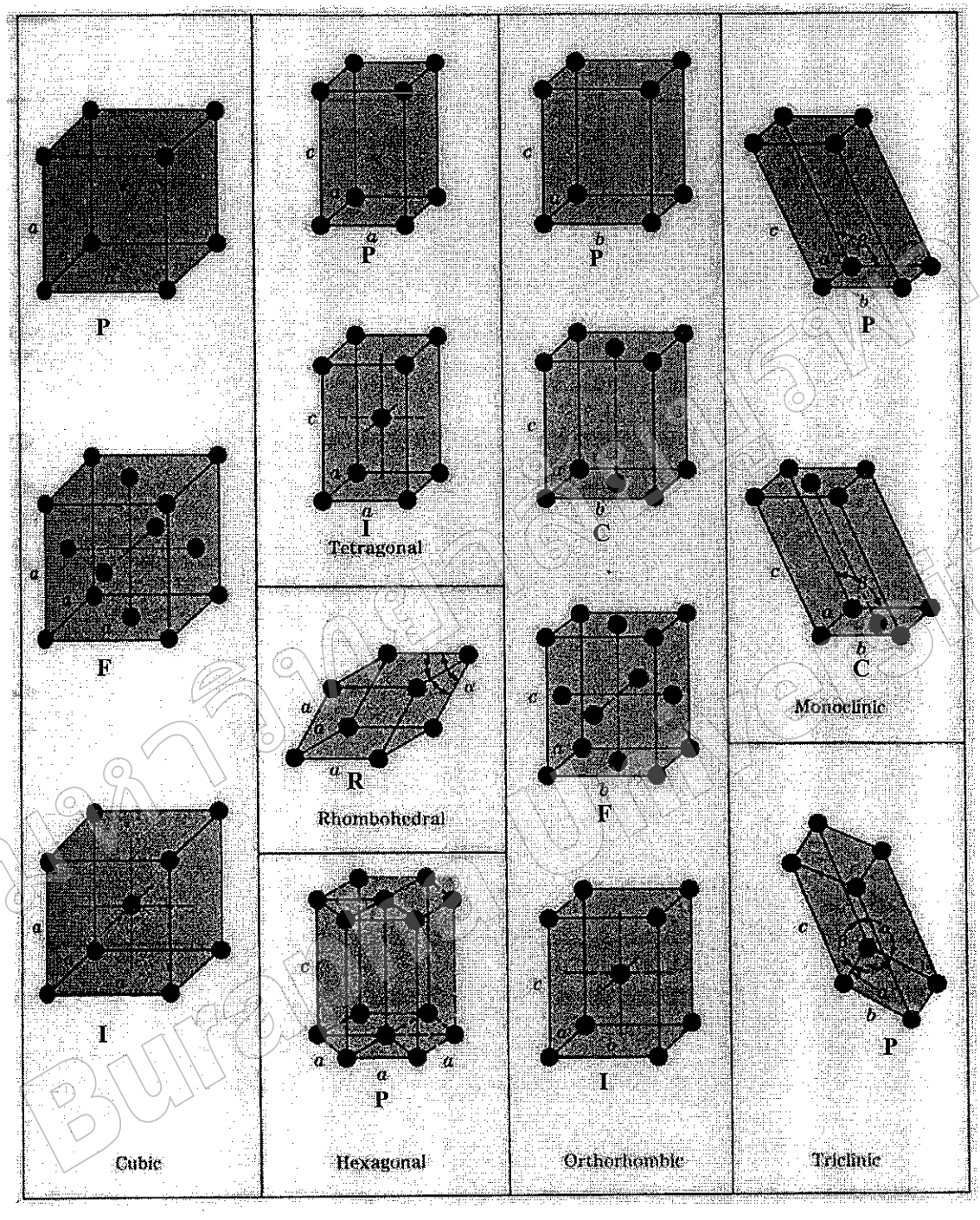
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-3 แสดงชนิดและลักษณะของสเปซ แลททิซ

Lattice type	Space Lattice	Crystal system	Description of unit vectors
Simple cubic Body-centered cubic Face-centered cubic	P I F	Cubic	Three vectors at right angles. a = b = c
Simple orthorhombic Body-centered orthorhombic Base-centered orthorhombic Face-centered orthorhombic	P I C F	Orthorhombic	Three vectors at right angles. a ≠ b ≠ c
Simple tetragonal Body-centered tetragonal	P I	Tetragonal	Three vectors at right angles. a = b ≠ c
Simple monoclinic Base-centered monoclinic	P C	Monoclinic	Two coplanar vectors not at right. Angles, third vector 90° to these, a = b ≠ c
Simple rhombohedral	P	Rhombohedral	Three vectors equally inclined but not at right angles, a = b = c
Simple hexagonal	P or C	Hexagonal	Two coplanar vectors at 120° third vector at 90° to these, a = b ≠ c
Simple triclinic	P	Triclinic	Three vectors not at right angles, a ≠ b ≠ c

จากชนิดและลักษณะของสเปซ แลททิซ สามารถแสดงให้เห็นระบบผลึก และสเปซ แลททิซได้ดังแสดงในภาพที่ 2.6

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2.6 รูปทรงของสเปซแลททิซแบบต่าง ๆ

จากรูป มุมระหว่างแกนวัดเป็นองศา มุมระหว่างด้าน b และ c เรียกว่า มุมแอลฟา (Alpha : α) มุมระหว่างด้าน c และ a เรียกว่า มุมเบต้า (Beta : β) และมุมระหว่างด้าน a และ b เรียกว่ามุมแกมมา (Gamma :γ) จากรูปจะเห็นว่าหน่วยเซลล์ของสเปซ แลททิซ มีทั้งหมด 14 ชนิด และแบ่งระบบผลึกเป็นกลุ่มได้ 7 กลุ่มใหญ่ ๆ

ภายในเซลล์จะมีจุดต่าง ๆ เรียงตัวกันตามลักษณะต่าง ๆ 5 ลักษณะ ซึ่งมีอักษรกำหนด ดังนี้

P หมายถึง หน่วยเซลล์ที่มีอนุภาค หรือหน่วยเซลล์อยู่เฉพาะที่มุมเท่านั้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ง่ายที่สุด หรือเรียกว่า หน่วยเซลล์พรีมิทีฟ (Primitive Cell)

C หมายถึง หน่วยเซลล์ที่อยู่จุดกึ่งกลางของฐาน ซึ่งเป็นด้าน C หรือเรียกว่า End-Centered หรือ Base-Centered

F หมายถึง หน่วยเซลล์ที่มีจุดกึ่งกลางอยู่ทุกด้านของหน่วยเซลล์

I หมายถึง หน่วยเซลล์ที่มีจุดกึ่งกลางของหน่วยเซลล์

R หมายถึง หน่วยเซลล์แบบรอมโบฮีดรอล (Rhomboghedral) มีลักษณะเป็นหน่วยเซลล์พรีมิทิฟ แต่ที่ผิดด้านล่างจะมีจุดกึ่งกลางอาจเรียกว่า C ก็ได้

สัญลักษณ์ตัวอักษรนี้ใช้กับการจัดเรียงตัวของอนุภาคอย่างง่ายเท่านั้น ไม่ได้กำหนดจำนวนอะตอมในหน่วยเซลล์ อาจพบอะตอมที่กึ่งกลางด้าน กึ่งกลางหน่วยเซลล์ที่แต่ละมุม และที่ตำแหน่งอื่น ๆ

2. ตำแหน่งของอะตอม (Atomic Position)

จุดในหน่วยเซลล์ หรือตำแหน่งของอะตอมเป็นค่า Co-ordinate หรือ จุดร่วมของทั้ง 3 แกน วัดจากมุมหรือจุดที่เริ่มต้นขนานไปตามแกน a หรือ x b หรือ y c หรือ z ตามลำดับ จนถึงจุดที่ต้องการ ระยะต่าง ๆ เหล่านี้บอกเป็นสัดส่วนความยาวของด้าน กึ่งกลางด้าน a (0, 0, ½) หมายถึงกึ่งกลางด้าน C หรือ (½, ½, ½,) หมายถึง กึ่งกลางหน่วยเซลล์ ส่วน x y และ z ใช้สำหรับบอกตำแหน่งจุดร่วมที่บอกเป็นเศษส่วนไม่สะดวก ในหน่วยเซลล์อย่างง่ายของ P จะมีจุดอยู่ที่มุมเท่านั้น คือ ตำแหน่ง (0, 0, 0) หน่วยเซลล์แบบ BCC มีจุดอยู่ที่มุม (0, 0, 0) และอยู่ที่ตรงกลาง (½, ½, ½)

หน่วยเซลล์แบบ FCC มีจุดอยู่ที่มุม (0, 0, 0) และอยู่ที่ตรงกลางแต่ละด้านทั้ง 6 ด้าน (0, ½, ½) , (½, ½, 0) , (½, 0 , ½) ถ้าจุดร่วมเป็นลบ ให้ใส่เครื่องหมายเหลือตัวอักษรหรือตัวเลข

3. ค่าการอัดตัวของอะตอม (Atomic Packing Factor : APF)

ค่าการอัดตัวของอะตอม คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรอะตอมทั้งหมดต่อปริมาตรของหน่วยเซลล์ ใช้สูตรดังนี้

$$\text{สูตร APF} = \frac{\text{ปริมาตรอะตอม}}{\text{ปริมาตรหน่วยเซลล์}}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

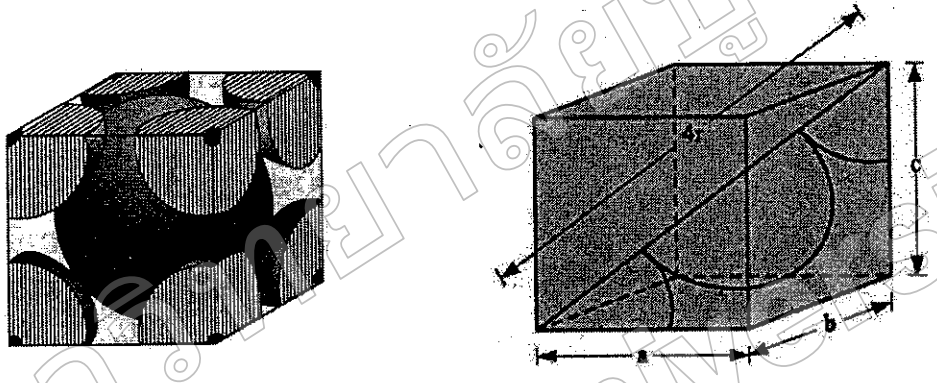
3.1 Body Center Cubic (BCC) หน่วยเซลล์แบบนี้ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (a = b = c, $\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$) มีอะตอมอยู่ในตำแหน่งของจุดแลททิช ที่มุมทั้งแปดและที่กึ่งกลางเซล์ (0, 0, 0) , (½, ½, ½) ถ้านำมาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยการใช้ทรงกลมแทนอะตอมของ BCC จะได้ดังภาพ 2.7

วิธีการคำนวณหาจำนวนอะตอมในหน่วยเซลแบบ BCC หาได้ดังนี้

จำนวนอะตอมที่กึ่งกลางหน่วยเซลล์ = 1

จำนวนอะตอมที่มุม 1 มุม = 1/8

อะตอมอยู่ที่มุม 8 มุม = (1/8 × 8) = 1



ภาพที่ 2.7 หน่วยเซลแบบ bcc

อะตอมทั้งหมด = 1 + 1

= 2

$$\text{สูตร APF} = \frac{\text{ปริมาตรอะตอม}}{\text{ปริมาตรหน่วยเซลล์}}$$

หน่วยเซล BCC 1 หน่วยเซลล์มี 2 อะตอม และอะตอมสัมผัส และอัดตัวกันแน่นตามทิศทางของเส้นทแยงมุมของหน่วยเซลล์ (Body Diagonals) สามารถหาค่าการอัดตัวของอะตอม (APF)ได้ดังนี้

ให้ r = เป็นรัศมีของอะตอม

เส้นทแยงมุมที่ยาวที่สุดของหน่วยเซลล์แบบ BCC มีอะตอมอัดกันอย่างแน่น = 4r

พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนด้านตรงข้ามมุมฉาก เท่ากับผลบวกของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนด้านประกอบมุมฉาก ดังนี้

4r = พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนด้าน C+ พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนเส้นทแยงมุมของด้าน C แต่พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนเส้นทแยงมุมของด้าน C

= พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนด้าน b + พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสบนด้าน C

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$= b^2 + a^2$$

$$(4r)^2 = b^2 + a^2 + c^2$$

$$4r = \sqrt{b^2 + a^2 + c^2}$$

$$= \sqrt{a^2 + a^2 + a^2} \qquad \text{(เพราะว่า } a = b = c\text{)}$$

$$4r = \sqrt{3a^2}$$

$$= a\sqrt{3}$$

$$\frac{4r}{\sqrt{3}} = a$$

ดังนั้นจะได้ Lattice Parameter = $\frac{4r}{\sqrt{3}}$

ปริมาตรของหน่วยเซลล์ = กว้าง×ยาว×สูง

$$= a^3 \ (a = b = c)$$

$$= (4r/\sqrt{3})^3$$

ปริมาตรของอะตอม = $\frac{4}{3}\pi r^3$

ผลึก BCC มี 2 อะตอม = $2\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$

แทนค่าสูตร APF = $\dfrac{2\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)}{(4r/\sqrt{3})^3}$

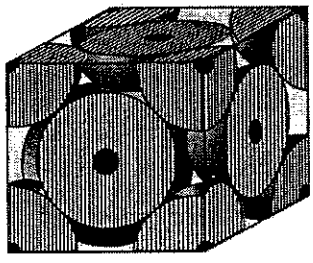
= 0.68 หน่วย

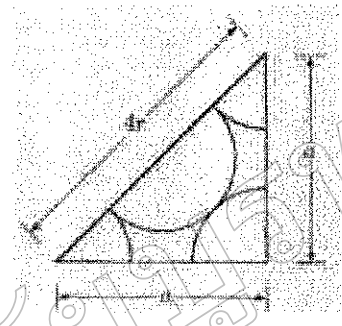
จากค่าการอัดตัวของหน่วยเซล BCC ในเนื้อที่ 1 หน่วยจะมีอะตอมครอบครองเนื้อที่อยู่ 0.68 หน่วย และเหลือเป็นที่ว่างอยู่ 0.32 หน่วย

ค่าอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดที่สุด (Co-ordination Number : CN) เป็นจำนวนอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดกันที่สุด กับแต่ละอะตอมในโครงสร้างผลึก ถ้าพิจารณาอะตอมกึ่งกลางของหน่วยเซลล์แบบ BCC จะพบว่าอะตอมกึ่งกลางจะสัมผัสกับอะตอมที่มุมได้ 8 ตัว แสดงว่าในแต่ละอะตอมในหน่วยเซลล์ของ BCC จะมีอะตอมอยู่ใกล้ชิดที่สุด 8 ตัว หรือมีค่า CN 8 หรือ CN = 8 โลหะที่มีโครงสร้างแบบ BCC ได้แก่ Na, K, Li, Ba, Nb, β - Ti, Ta, α - Cr, Mo, α - w, α - Fe

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.2 Face-Centered Cubic (FCC) มีลักษณะรูปร่างเป็นลูกบาศก์ ($a=b=c$, $\alpha=\gamma=\beta=90^{\circ}$) อะตอมอยู่ที่มุมทั้ง 8 มุม (0, 0, 0) และอยู่ที่กึ่งกลางด้านทั้ง 6 ด้าน (0, ½, ½,) , (½, ½, 0) , (½, 0 , ½) ถ้านำมาสร้างเป็นแบบจำลองโดยใช้ทรงกลมแทนอะตอม FCC จะได้ดังภาพที่ 2.8





ภาพที่ 2.8 หน่วยเซลแบบ fcc

วิธีคำนวณหาจำนวนอะตอมในหน่วยเซลแบบ FCC หาได้ดังนี้

จำนวนอะตอมที่มุม 8 มุม = (1/8 ×8) = 1 อะตอม

จำนวนอะตอมที่อยู่กลางด้าน 6 ด้าน = (½ ×6) = 3 อะตอม

อะตอมทั้งหมด = 3 + 1 = 4 อะตอม

ค่าการอัดตัวของอะตอมแบบ FCC

$$\text{สูตร APF} = \frac{\text{ปริมาตรอะตอม}}{\text{ปริมาตรหน่วยเซลล์}}$$

ปริมาตรของอะตอมทั้งหมด = 4 × ปริมาตรอะตอม (FCC 1 หน่วยเซลล์ = 4 อะตอม)

เมื่อ r = รัศมีอะตอม

$$= 4 \times \left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$$

$$= \frac{16}{3}\pi r^3$$

ปริมาตรหน่วยเซลล์หาได้ดังนี้

เส้นทแยงมุมตามผิวหน้าหน่วยเซลล์ (Face Diagonal)

$$= 4r$$

$$(4r)^2 = a^2+c^2$$

$$= a^2+a^2 \quad (a=b=c)$$

$$4r = \sqrt{2a^2}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$= a\sqrt{2}$$

$$\frac{4r}{\sqrt{2}} = a$$

$$2\sqrt{2}r = a \quad = \text{ค่า Lattice Parameter}$$

ปริมาตรหน่วยเซลล์ $= a^3 = (2\sqrt{2}r)^3$

$$APF = \frac{\frac{16}{3}\pi r^3}{(2/\sqrt{2}r)^3}$$

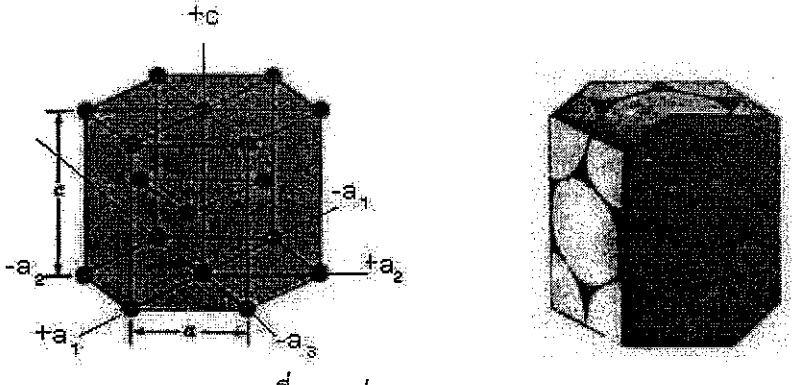
$$= \frac{16\pi}{48\sqrt{2}}$$

$$= \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0.74 \text{ หน่วย}$$

จากค่าการอัดตัวของหน่วยเซล FCC ในเนื้อที่ 1 หน่วย จะมีอะตอมครอบครองเนื้อที่อยู่ 0.74 หน่วย และเหลือเป็นที่ว่าง 0.36 ในหน่วยเซล FCC จะมีอะตอมยึดครองอยู่หนาแน่นกว่าหน่วยเซล BCC ส่วนค่า CN ของหน่วยเซล FCC = 12 ตัว หมายความว่า อะตอมแต่ละตัวของ FCC จะมีอะตอมใกล้ชิดที่สุด 12 ตัว

การจัดเรียงตัวของอะตอมแบบ FCC เป็นการจัดเรียงตัวที่มีความหนาแน่นที่สุด เพราะอะตอมจะเรียงตัวชิดกัน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Cubic Close – Packed

3.3 Hexagonal Close-Packed (HCP) มีลักษณะเป็นรูป 6 เหลี่ยม มุมของแกนในแนวระนาบ 3 แกน ทำมุม 120 ° ซึ่งกันและกัน มุมระหว่างแกนในแนวระนาบทำกับแกนในแนวดิ่ง (C) = 90° หนึ่งหน่วยเซลล์จะมี 12 มุม ถ้านำมาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยใช้วงกลมแทนอะตอมของ HCP จะได้ดังรูป



ภาพที่ 2.9 หน่วยเซลแบบ hcp

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

วิธีการคำนวณหาจำนวนอะตอมในหน่วยเซลแบบ HCP หาได้ดังนี้

อะตอม 1 ตัว ใช้ร่วมกัน = 6 หน่วยเซลล์

1 มุมของหน่วยเซลล์จะมีอะตอม = $\frac{1}{6}$ หน่วยเซลล์

หน่วยเซลล์ของ HCP มีมุม = 12 มุม

อะตอมที่มุม = $\frac{1}{6} \times 12 = 2$ อะตอม

ระหว่างระนาบบนกับระนาบฐานมีอะตอม = 3 อะตอม

กึ่งกลางระนาบบนและระนาบฐาน มีอะตอมด้านละ 1 ตัว

ใช้ร่วมกับหน่วยเซลล์อื่นอีก 1 หน่วยเซลล์

แต่ละหน่วยเซลมีอะตอมที่กึ่งกลางด้าน 1 ด้าน = ½ อะตอม

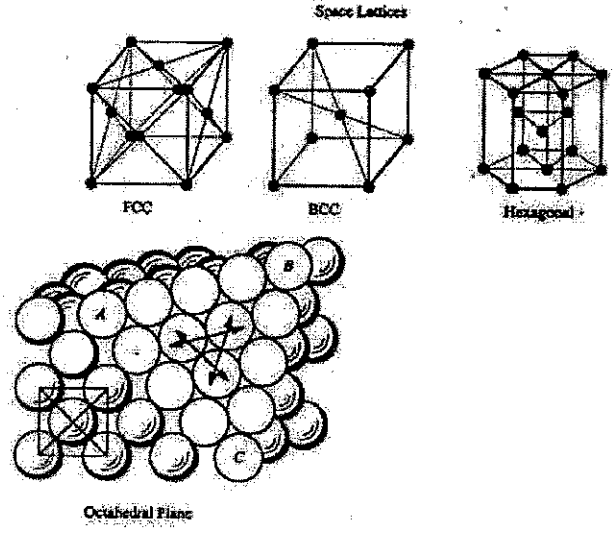
อะตอมที่กึ่งกลางด้านบนและด้านฐาน = ½ × 2 = 1 อะตอม

อะตอมในหน่วยเซล HCP ทั้งหมด = 2 + 3 + 1 = 6 อะตอม

ระนาบบน และระนาบฐานของหน่วยเซลแบบ HCP จะมีอะตอมอัดตัวกันหนาแน่นเหมือนกับในระนาบ Octahedral ของหน่วยเซลแบบ FCC อะตอมทุกตัวจะรวมตัวกันชิดระนาบที่อัดตัวกันหนาแน่นของหน่วยเซลแบบ HCP เรียกว่า Basal Plan โดยมีอยู่ 2 ระนาบเรียงซ้อนกันไปเรื่อย ๆ ขนานกันไป ดังนั้นจึงถือว่า Basal Plan ระนาบเดียวอะตอมที่ใกล้ชิดที่สุด 6 + 3 + 3 นั่นคือ HCP มีค่า CN = 12 ซึ่งเท่ากับ BCC

โครงสร้างผลึก HCP ที่อัดตัวกันหนาแน่นนั้น จะมีอัตราส่วน $\frac{c}{a}$ = 1.663 ถ้าค่าต่างไปจากนี้จะเป็นหกเหลี่ยมที่ไม่หนาแน่น และจะมีค่า CN = 6

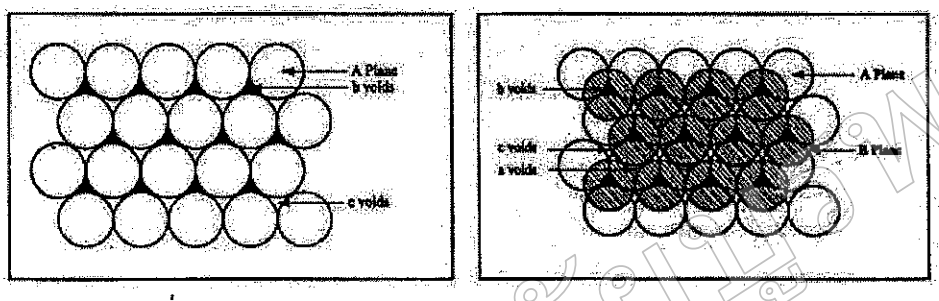
โครงสร้างของหน่วยเซลแบบ BCC FCC และ HCP หลายหน่วยเซลล์ต่อเนื่องกัน ถ้าดึงอะตอมที่มุมของ FCC ออกแล้วมองตั้งฉากเข้าไป ทางที่ดึงอะตอมออกจะเห็นอะตอมอัดตัวแน่น เรียกว่า Close Packed Plance หนึ่งหน่วยเซลล์ ถ้าดึงอะตอมที่มุมออกทุกมุม จะเห็นระนาบดังกล่าวทุกมุม ฉะนั้นจะมีระนาบที่อัดกันหนาแน่น 8 ระนาบ เรียกว่า Octahedral Plane และทั้ง 8 ระนาบนี้ จะขยายกัน 4 คู่ ดังนั้นจึงมี Octahedral Plane เพียง 4ระนาบ ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการเรียงตัวของอะตอมแบบBCC, FCC และ HCP

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โครงสร้างผลึก FCC และ HCP เป็นโครงสร้างของหน่วยเซลที่อะตอมอัดตัวหนาแน่นเช่นกัน และมีค่า CN = 12 แต่แตกต่างกันที่การเรียงตัวของระนาบอะตอมเท่านั้น ลักษณะการเรียงตัวของอะตอมในผลึก FCC และ HCP ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะการเรียงตัวของระนาบอะตอมแบบ FCC และ HCP

จากรูป (ก) ระนาบ A เป็นลักษณะที่มองด้านบน ถ้าเราเอาอีกระนาบหนึ่งมาวางทับบนระนาบ A โดยให้ปิดช่องว่าง b เอาไว้ ดังรูป (ข) แต่ยังเห็นช่อง c และจะเกิดช่องว่างขึ้นอีกชุดหนึ่งบนระนาบ b ซึ่งอยู่ตรงกับศูนย์ของอะตอมในระนาบ A จะตรงกับอะตอมในระนาบ c โดยจะเรียงกันเป็น ABC ABC ABC …. ไปเรื่อย ๆ แต่การวางลักษณะดังกล่าว ระนาบ A และ B ถือว่าเป็นระนาบเดียวกัน เพราะอะตอมอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน และขนานกัน ดังนั้นจึงเป็นการเรียงซ้อนกันของระนาบอะตอมแบบ AB AB AB …. ไปเรื่อย ๆ ถ้าการวางเรียงซ้อนกันไม่มีที่สิ้นสุด โครงสร้างจะเป็น HCP ระนาบของ A และ c จะเป็น Basal plane ส่วนระนาบ B จะเป็น Basal Plane ของเซลล์ถัดไป

ถ้าดูในรูป (ข) จะเห็นว่าช่องว่างอีกชุดหนึ่งของระนาบ B จะตรงกับช่องว่าง c บนระนาบ A พอดี ถ้าวางระนาบ c ลงไปปิดช่องว่าง C อะตอมของระนาบ C จะไม่ตรงกับระนาบ A การเรียงตัวจะเป็นแบบ ABC ABC ABC…… ทำให้เกิดโครงสร้าง FCC

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-4 แสดงค่าคงที่ต่าง ๆ ของระบบผลึกที่มีการเกาะตัวกันของอะตอม แบบ BCC ,FCC,HCP

Metal	Lattice constant a, nm	Atomic radius R_1* nm
Chromium	0.289	0.125
Iron	0.287	0.124
Molybdenum	0.315	0.136
Potassium	0.533	0.231
Sodium	0.429	0.186
Tantalum	0.330	0.143
Tungsten	0.316	0.137
Vanadium	0.304	0.132

Metal	Lattice constant a, nm	Atomic radius R_1* nm
Aluminum	0.405	0.143
Copper	0.3615	0.128
Gold	0.408	0.144
Lead	0.495	0.175
Nickel	0.352	0.125
Platinum	0.393	0.139
Silver	0.409	0.144

Metal	Lattice constants, nm a	c	Atomic radius R, nm	c/a ratio	% deviation from ideality
Cadmium	0.2973	0.5618	0.149	1.890	+15.7
Zinc	0.2665	0.4947	0.133	1.856	+13.6
Ideal HCP				1.633	0
Magnesium	0.3209	0.5209	0.160	1.623	−0.66
Cobalt	0.2507	0.4069	0.125	1.623	−0.66
Zirconium	0.3231	0.5148	0.160	1.593	−2.45
Titanium	0.2950	0.4683	0.147	1.587	−2.81
Beryllium	0.2286	0.3584	0.113	1.568	−3.98

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบฝึกหัด ตอนที่ 2-2

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. โครงสร้างของแข็ง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

   1. .....

   2.....

2. พลาสติก,ยาง และแก้ว จัดเป็นของแข็งประเภทใด.....

3. การจัดเรียงอะตอมเป็นกลุ่มก้อน แต่ละกลุ่มมีลักษณะของการจัดเรียงอะตอมเหมือนกันเชื่อมโยงต่อกัน เป็นรูปโครงข่ายแบบสามมิติ ขยายต่อไปได้ไม่มีที่สิ้นสุด เป็นลักษณะ ของ.....

4. เมื่อโลหะแข็งตัวจะเป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก เรียกว่า .....
   หรือ .....

5. การแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลที่พบในโลหะส่วนใหญ่มี 3 แบบ คือ

   1 ..... มีลักษณะ .....

   2 .....มีลักษณะ .....

   3 .....มีลักษณะ .....

6. ภายในเซลล์มีจุดต่าง ๆ มีการเรียงตัวกัน 5 ลักษณะ

   P หมายถึง .....

   C หมายถึง .....

   F หมายถึง .....

   I หมายถึง .....

7. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลแบบ BCC ณ อุณหภูมิห้อง ได้แก่ .....
   มีคุณสมบัติเป็นอย่างไร .....

8. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลแบบ FCC ณ อุณหภูมิห้อง ได้แก่.....
   มีคุณสมบัติเป็นอย่างไร .....

9. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซแบบ HCP อุณหภูมิห้อง ได้แก่ .....
   คุณสมบัติเป็นอย่างไร .....

10. ในหน่วยเซลล์ BCC มีจำนวนอะตอมเท่ากับ ..... อะตอม

11. ค่าการอัดตัว(APF) ของเหล็ก (Fe) ใน 1 หน่วยเซลล์ มีค่าเท่ากับ.....และมีช่องว่างระหว่างอะตอมเท่ากับ.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

12. ค่าการอัดตัว(APF) ของทอง (Cu) ใน 1 หน่วยเซลล์ มีค่าเท่ากับ.....และมีช่องว่างระหว่างอะตอมเท่ากับ.....

13. อะตอมในผลึก HCP มีจำนวน.....อะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

เฉลยแบบฝึกหัด ตอนที่ 2-2

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. โครงสร้างของแข็ง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

   1.ของแข็งอสัณฐาน(Amorphous)

   2. ของแข็งผลึก(Crystalline)

2. พลาสติก,ยาง และแก้ว จัดเป็นของแข็งประเภทใด <u>ของแข็งอสัณฐาน(Amorphous)</u>

3. การจัดเรียงอะตอมเป็นกลุ่มก้อน แต่ละกลุ่มมีลักษณะของการจัดเรียงอะตอมเหมือนกันเชื่อมโยงต่อกัน เป็นรูปโครงข่ายแบบสามมิติ ขยายต่อไปได้ไม่มีที่สิ้นสุด เป็นลักษณะ ของ<u>โครงสร้างผลึก</u>

4. เมื่อโลหะแข็งตัวจะเป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ รวมตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก เรียกว่า <u>Polycrystalline</u> หรือ <u>Grain</u>

5. การแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลที่พบในโลหะส่วนใหญ่มี 3 แบบ คือ

   1 <u>Body center cubic</u> มีลักษณะ <u>เป็น Unit cell ประกอบด้วยอะตอม 2 ตัวใน 1 Unit cell</u>

   2 <u>Face center cubic</u> มีลักษณะ <u>เป็น Unit cell ประกอบด้วยอะตอม 4 ตัวใน 1 Unit cell</u>

   3 <u>Hexagonal Close Pack</u> มีลักษณะ เป็นรูปหกเหลี่ยม <u>ประกอบด้วยอะตอม 6ตัวใน 1 Unit cell</u>

6. ภายในเซลล์มีจุดต่าง ๆ มีการเรียงตัวกัน 5 ลักษณะ

   P หมายถึง <u>หน่วยเซลล์อยู่เฉพาะที่มุมเท่านั้น</u>

   C หมายถึง <u>หน่วยเซลล์อยู่กึ่งกลางด้านฐาน หรือ Base Centered</u>

   F หมายถึง <u>หน่วยเซลล์มีจุดอยู่กึ่งกลางอยู่ทุกด้านของหน่วยเซลล์</u>

   I หมายถึง <u>หน่วยเซลล์มีจุดอยู่กึ่งกลางของหน่วยเซลล์</u>

   R หมายถึง <u>หน่วยเซลล์แบบรอมโบฮีดรอลมีผิวด้านล่างแบบ C</u>

7. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลแบบ BCC ณ อุณหภูมิห้อง ได้แก่ <u>Cr,Fe,Mo,W</u> จะมีคุณสมบัติ <u>ความแข็งแรงสูง,ความแข็งสูง,แปรรูปยาก</u>

8. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลแบบ FCC ณ อุณหภูมิห้อง ได้แก่ Al,Cu,Ag,Lni มีคุณสมบัติเป็นอย่างไร <u>ค่อนข้างอ่อน, เหนียว, แปรรูปง่าย</u>

9. วัสดุที่มีการแพ็คกิ้งของอะตอมในหน่วยเซลแบบ HCP ได้แก่ <u>Ca,Zn,Mn,Ti มี</u>คุณสมบัติเป็นอย่างไร <u>มีความแข็งขึ้น มีการแปรรูปยาก</u>

10. ในหน่วยเซลล์ BCC มีจำนวนอะตอมเท่ากับ <u>2 อะตอม</u>

11. ค่าการอัดตัว(APF) ของเหล็ก (Fe) ใน 1 หน่วยเซลล์ มีค่าเท่ากับ<u>68 %</u>และมีช่องว่างระหว่างอะตอมเท่ากับ<u>32%</u>

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

12. ค่าการอัดตัว(APF) ของทอง (Cu) ใน 1 หน่วยเซลล์ มีค่าเท่ากับ74%และมีช่องว่างระหว่างอะตอมเท่ากับ26%

13. อะตอมในผลึก HCP มีจำนวน6อะตอม

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ทิศทางและระนาบในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

1. สาระสำคัญ

การที่จะศึกษาถึงคุณสมบัติของโลหะให้ละเอียดในเรื่องของความแข็งแรงของวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม จะต้องเข้าใจทิศทางและระนาบต่าง ๆ ภายในผลึกด้วยเพราะการพิจารณาผลึกในทิศทางต่างกันจะได้ผลลัพธ์ไม่เหมือนกัน การแสดงทิศทางการเรียงตัวของผลึกตามแนวหนึ่ง ๆ จะมีสัญลักษณ์ตัวเลขในวงเล็บใหญ่ [ ] และการแสดงระนาบในผลึกจะใช้สัญลักษณ์ตัวอักษรตัวเลขในวงเล็บเล็ก ( )

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ ทิศทางและระนาบในผลึกพร้อมทั้งมีทักษะในการระบุทิศทางและดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งแบบ Cubicและ Hcp

2.2 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.2.1 บอกความสำคัญของการหาทิศทางและระนาบได้

2.2.2 ระบุทิศทางในระบบการแพ็คกิ้งแบบ Cubic ได้

2.2.3 ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้ง Cubic ได้

2.2.4 ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้ง แบบ HCP ได้

3. ความรู้พื้นฐานที่ควรมีก่อนเรียน

- โครงสร้างอะตอม
- โครงสร้างผลึก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117	**ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**
ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก	**เรื่อง ทิศทางและระนาบในผลึก**
เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย	**เวลา 80 นาที**

4. เนื้อหาสาระ

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ของระนาบและทิศทาง

4.2 ทิศทางของผลึกในระบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

4.3 ระนาบในผลึก

4.3.1 การหาดัชนีมิเลอร์ในผลึกรูปสี่เหลี่ยม

4.3.2 การหาดัชนีมิลเลอร์ในผลึกรูปหกเหลี่ยม

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นนำ

ครู : ทบทวนความรู้เรื่อง ระบบพิกัดฉากในระบบแรงสามมิติ โดยวิธี ถาม-ตอบ และแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ พร้อมกับแจกใบความรู้ที่ 2/3ให้แก่ผู้เรียน

5.2 ขั้นให้ข้อมูล

ครู : อธิบายถึงความสำคัญของทิศทางและระนาบในผลึก(ใช้สื่อแผ่นใสที่17 และใบความรู้หน้า 19)

นักศึกษา : ฟังและทำความเข้าใจ ซักถามข้อสงสัย

ครู : ยกตัวอย่างของการบอกทิศทางในผลึก พร้อมทั้งตั้งคำถามให้ผู้เรียนตอบคำถามทิศทางในผลึก(ใช้สื่อแผ่นใสที่17,ใบความรู้หน้า158-161)

นักศึกษา : ตอบคำถาม(ใบความรู้หน้า159-161)

ครู : ทำการสรุปให้ผู้เรียนดูการบอกทิศทางในผลึกด้วยสื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสาธิตวิธีการหาทิศทางในผลึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

นักศึกษา : ร่วมทำความเข้าใจและซักถามปัญหา(คอมพิวเตอร์)

ครู : สาธิตวิธีการคิดหาค่าดัชนีมิลเลอร์พร้อมทั้งตั้งคำถามให้ผู้เรียนได้แสดงวิธีการคิดหาค่าดัชนีมิเลอร์โดยแสดงวิธีทำหน้าชั้นเรียน(ใช้สื่อแผ่นใสที่20-22,ใบความรู้หน้า 161-163 และแผ่นกระดาน)

นักศึกษา : ร่วมกันคิดหาค่าดัชนีมิลเลอร์(ใช้สื่อแผ่นใสที่22,ใบความรู้หน้า161-163 และหุ่นจำลอง)

ครู : สังเกต(ให้คะแนนคุณธรรมฯบันทึกลงในสมุดบันทึกคุณธรรมฯ)

นักศึกษา : ซักถามปัญหาข้อสงสัย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ทิศทางและระนาบในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

ขั้นให้ข้อมูล(ต่อ)

ครู : ทำการสรุปให้ผู้เรียนดูการบอกระนาบในผลึกและสาธิตวิธีด้วยสื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสาธิตวิธีการหาทิศทางในผลึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.3 ขั้นพยายาม

ครู : ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดที่ 2/3 โดยใช้เวลา 15 นาที

นักศึกษา : ทำแบบฝึกหัด

6. สื่อการเรียนการสอน

6.1 แผ่นใสที่ 17-22

6.2 ใบความรู้ที่ 3 เรื่องทิศทางและระนาบในผลึก

6.3 หุ่นจำลอง ระนาบในผลึก

6.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงการหาทิศทางและระนาบในผลึก

7. การวัดและประเมินผล

7.1 เครื่องมือวัด : แบบฝึกหัด เรื่องโครงสร้างอะตอม

วิธีการวัด : นักศึกษาทำแบบฝึกหัด

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินผลความรู้ในเนื้อหา ตามเกณฑ์ที่กำหนด คะแนนที่ได้ต้องผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

7.2 เครื่องมือวัด : แบบสังเกตพฤติกรรมเกี่ยวกับคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิธีการวัด : สังเกตโดยผู้สอน

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบประเมิน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 3

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **ทิศทางและระนาบในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ ทิศทางและระนาบในผลึกพร้อมทั้งมีทักษะในการระบุทิศทางและดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งแบบ Cubicและ Hcp

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 บอกความสำคัญของการหาทิศทางและระนาบได้

2.2 ระบุทิศทางในระบบการแพ็คกิ้งแบบ Cubic ได้

2.2 ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งแบบ Cubic ได้

2.2 ระบุค่าดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งแบบ HCP ได้

3. รายการสอน

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ของระนาบและทิศทาง

3.2 ทิศทางของผลึกในระบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

3.3 ระนาบในผลึก

3.3.1 การหาดัชนีมิเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งรูปสี่เหลี่ยม

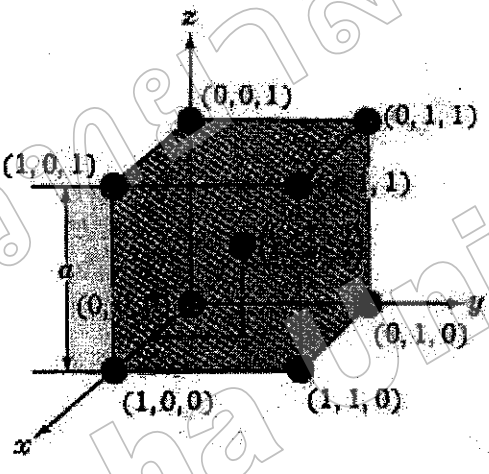
3.3.2 การหาดัชนีมิลเลอร์ในระบบการแพ็คกิ้งรูปหกเหลี่ยม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทิศทางและระนาบในผลึก

(Direction and Plane in Crystal)

การอธิบายคุณสมบัติของโลหะ เช่น ความแข็งแรงซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม จะต้องเข้าใจทิศทาง (Direction) และระนาบ (Plane) ต่าง ๆ ภายในผลึกด้วยเพราะการพิจารณาผลึกในทิศทางต่างกันจะได้ผลลัพธ์ไม่เหมือนกัน การแสดงทิศทางการเรียงตัวของผลึกตามแนวหนึ่ง ๆ จะมีสัญลักษณ์ตัวเลขในวงเล็บใหญ่ เช่น [100] , [010] ดังภาพที่ 2.12 หรือ [1010] ในระบบ Hexagonal การหาทิศทางของผลึก คือการหาจุดตัด (Co-ordinate) ที่แนวของทิศทางนั้นพุ่งผ่านไปนั้นเอง



ภาพที่ 2.12 แสดงทิศทางและการเรียงตัวของอะตอมในหน่วยเซล

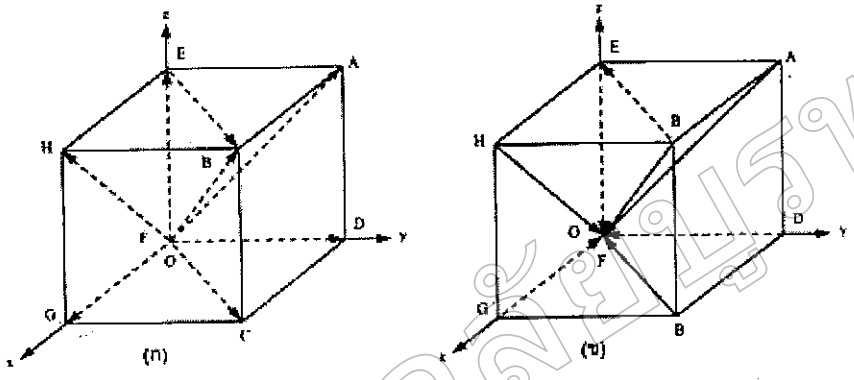
1. ความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ของระนาบและทิศทาง

การหาค่าดัชนีมิลเลอร์ของระนาบ และสัญลักษณ์ทิศทาง ถ้าเป็นเลขชุดเดียวกันเรียงเหมือนกัน ทิศทางจะตั้งฉากกับระนาบ เช่น ระนาบ (111) ตั้งฉากกับทิศทาง [111] เป็นต้น ระบบของสัญลักษณ์ของทิศทางก็มีเครือของทิศทาง (Family of Equivalent Direction) เช่นกัน โดยเขียนสัญลักษณ์ <UVW> เช่น <110> จะแทนสัญลักษณ์ของการบอกทิศทางของอะตอมในระบบผลึกตรงทิศทางต่อไปนี้ [110] [011] [110] [101] [011] และ [101] เป็นต้น การกำหนดเครือทิศทางขึ้นเพราะเมื่อมีการกำหนดแกนอ้างอิงไม่เหมือนกัน ตัวเลขจะเขียนได้หลายแบบ แต่อย่างไรก็ตามในทิศทางเหล่านั้น การเรียงตัวของอะตอมก็ยังคงเหมือนกันอยู่ จึงจัดให้เป็นกลุ่มเดียวกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ทิศทางของผลึกในระบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (Cubic)

ในหน่วยเซลล์ของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ได้แสดงทิศทางต่าง ๆ ไว้หลายทิศทาง การหาดัชนีของทิศทางเกล่านี้ สามารถหาได้ดังภาพ 2.13



ภาพที่ 2.13 แสดงทิศทางของผลึกในหน่วยเซล

จากรูป (ก) สามารถหาทิศทางของ FC ได้ดังนี้

ทิศทางเคลื่อนจาก F ขนานกับแกน y มายัง D = 1 หน่วย

ทิศทางเคลื่อนจาก D ขนานกับแกน x มายัง C = 1 หน่วย

ทิศทางเคลื่อนไปแกน Z ไม่มี = 0 หน่วย

ทิศทางของ FC คือ [110]

การหาทิศทาง BF รูป (ข)

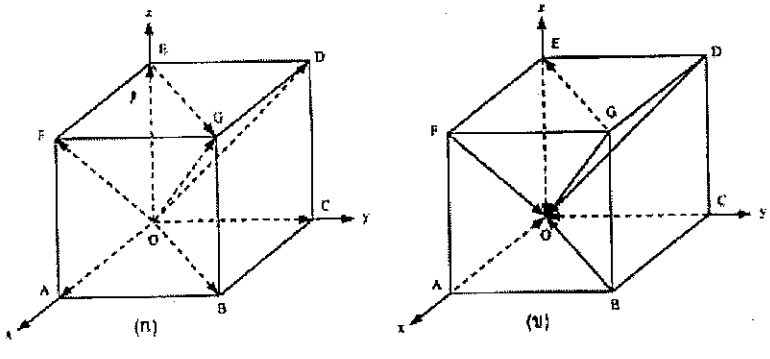
ทิศทางเคลื่อนจาก B ขนานกับแกน y มายัง H = -1 หน่วย

ทิศทางเคลื่อนจาก H ขนานกับแกน x มายัง E = -1 หน่วย

ทิศทางเคลื่อนจาก E ขนานกับแกน z มายัง F = -1 หน่วย

ทิศทางของ BF คือ $[\bar{1}\,\bar{1}\,\bar{1}]$

<u>ตัวอย่าง</u> ทิศทางของผลึกสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ดังแสดงในรูป



ภาพที่ 2.15 แสดงทิศทางของผลึกในหน่วยเซล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากทิศทางของผลึกเราสามารถหาค่าทิศทางของผลึกได้ดังนี้

จากรูป (ก)

ทิศทางของ 0A = 1a +0b +0c (0A มีค่าตามแกน x = 1 หน่วย)

ดัชนี 0A = [100]

ทิศทางของ 0C = 0a +1b +0c (0C มีค่าตามแกน y = 1 หน่วย)

= [010]

ทิศทางของ 0E = 0a +0b +1c (0E มีค่าตามแกน z = 1 หน่วย)

= [001]

ทิศทางของ 0F = 1a +0b +1c (0F มีค่าตามแกน x และ z แกนละ 1 หน่วย)

= [101]

ทิศทางของ 0B = 1a +1b +0c (0B มีค่าตามแกน x และ y แกนละ 1 หน่วย)

= [110]

ทิศทางของ 0D = 0a +1b +1c (0D มีค่าตามแกน y และ z แกนละ 1 หน่วย)

= [011]

ทิศทางของ 0G = 1a +1b +1c (0G มีค่าตามแกน x, y และ z แกนละ 1 หน่วย)

= [111]

จากรูป (ข)

เป็นทิศทางที่กลับกันกับรูป (ก) การหาดัชนีจะต้องย้ายจุดเริ่มต้นไปที่ต้นทิศทางเสมอ

ทิศทางของ A0 = -1a +0b +0c

= [100]

ทิศทางของ C0 = 0a - 1b +0c

= [010]

ทิศทางของ E0 = 0a + 0b -0c

= [001]

ทิศทางของ F0 = -1a - 0b -1c

= [101]

ทิศทางของ B0 = -1a - 1b +0c

= [110]

ทิศทางของ G0 = -1a - 1b -1c

= [111]

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. ระนาบในผลึก (Crystallographic Plane)

กลุ่มอะตอมที่เรียงตัวกันอยู่ในระนาบหนึ่ง ๆ เรียกว่า ระนาบ โดยมิลเลอร์ ได้กำหนดสัญลักษณ์สำหรับเรียกระนาบว่า ดัชนีมิลเลอร์ (Miller Indices) ลักษณะของดัชนีมิลเลอร์ จะเป็นตัวเลข 3 ตัว ในกรณีที่เป็นระบบผลึก 3 แกน แต่ถ้าเป็นระบบผลึก Hexagonal จะใช้สัญลักษณ์ตัวเลขในวงเล็บ 4 ตัว เช่น $(1\bar{1}01)$, $(10\bar{1}1)$ เป็นต้น

5.1 การหาดัชนีมิลเลอร์ในผลึกรูปสี่เหลี่ยม

1. ให้กำหนดแกนขึ้น 3 แกน คือ x, y, z ตามขอบของหน่วยเซลล์และต้องไม่กำหนดให้จุดกำหนดของแกนอ้างอิงอยู่ในระนาบที่ต้องการหาตัวเลขดัชนีมิลเลอร์

2. หาจุดตัดของระนาบที่ต้องการบนแกนที่อ้างอิง (x, y. z) และให้ถือว่าระยะบนแกนทั้ง 3 ใช้มาตรเดียวกัน และห่างกันเป็นหน่วย ๆ เช่น ค่าจุดตัดทั้ง 3 ได้ค่า a b และ c หน่วยตามลำดับ

3. กลับเศษเป็นส่วนของระยะในข้อ 2. จะได้ $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$ และ $\frac{1}{c}$ เพื่อให้เป็นตัวเลขที่ง่ายขึ้น

ให้ $h = \frac{1}{a}$

$k = \frac{1}{b}$

$l = \frac{1}{c}$

ดังนั้น $hx + ky + lz = 1$

แล้วนำค่า h k l ไปใส่ในวงเล็บ จะได้ค่าดัชนีมิลเลอร์สำหรับระนาบเป็น (h k l)

ตัวอย่างที่ 1 ในหน่วยเซลล์เหลี่ยมลูกบาศก์ ผิวหน้าด้านหนึ่งของหน่วยเซลล์ คือ ABCD จงหาดัชนีมิลเลอร์ของระนาบนี้

ระนาบ HBGC ตัดแกน x ที่ 1

ขนานกับแกน y ถือว่าตัดที่ค่าอนันต์ (α)

ขนานกับแกน z ถือว่าตัดที่ค่าอนันต์ (α)

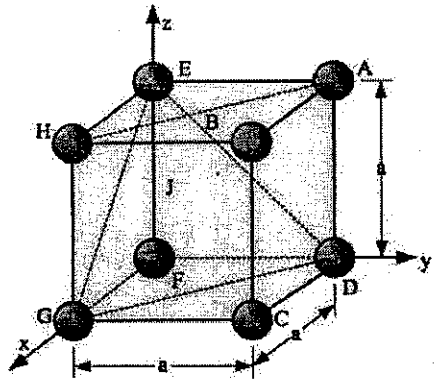
จะได้สมการ $\frac{x}{1} + \frac{y}{\alpha} + \frac{z}{\alpha} = 1$

กลับเศษเป็นส่วน $\frac{1}{1}x + \frac{1}{\alpha}y + \frac{z}{\alpha} = 1$

$1x + 0y + 0z = 1$

ค่าดัชนีมิลเลอร์คือ (1 0 0)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2.16 แสดงระนาบในหน่วยเซลแบบ Cubic

จากภาพที่ 2.16 ระนาบ ABCD จะหาค่าดัชนีมิลเลอร์ได้ดังนี้

ขนานกับแกน x ที่ค่าอนันต์ (α)

ตัดกับแกน y ที่ 1

ขนานกับแกน z ถือว่าตัดที่ค่าอนันต์ (α)

จะได้สมการ $\frac{x}{\alpha} + \frac{y}{1} + \frac{z}{\alpha} = 1$

กลับเศษเป็นส่วน $\frac{\alpha}{x}x + \frac{1}{y}y + \frac{\alpha}{z} = 1$

$0x + 1y + 0z = 1$

ค่าดัชนีมิลเลอร์คือ (0 1 0)

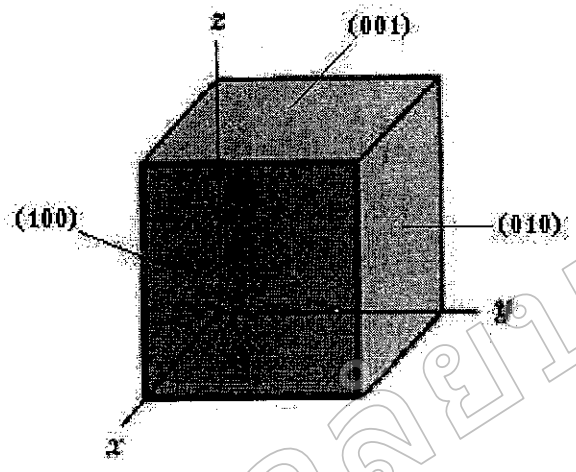
จากภาพ 2.16 จงหาดัชนีมิลเลอร์ของทั้ง 6 ระบบโดยใช้จุดอ้างอิงอยู่ที่ F

ตารางที่ 2-5 การวิเคราะห์หาดัชนีมิลเลอร์

	ระนาบตัดแกนที่			ส่วนกลับ			จำนวนเต็ม			ดัชนี มิลเลอร์ (h, k, l)	จุดอ้างอิง
ระนาบ	x	y	z	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{y}$	$\frac{1}{z}$	h	k	l		
ABCD	∞	1	∞	0	1	0	0	1	0	(0 1 0)	
ABEH	∞	∞	1	0	0	1	0	0	1	(0 0 1)	
HBGC	1	∞	∞	1	0	0	1	0	0	(1 0 0)	ใช้จุด F
EGD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	(1 1 1)	เป็นจุดอ้างอิง
CDGF	∞	∞	-1	0	0	-1	0	0	-1	$(0\,0\,\bar{1})$	ใช้จุด E เป็นจุดอ้างอิง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีมิลเลอร์ ผู้วิเคราะห์สามารถที่จะกำหนดให้จุดใดเป็นจุดอ้างอิงก็ได้ แต่อย่ากำหนดให้อยู่ในระนาบที่จะหาดัชนี และจุดนั้นจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ดังนั้น ค่าของ

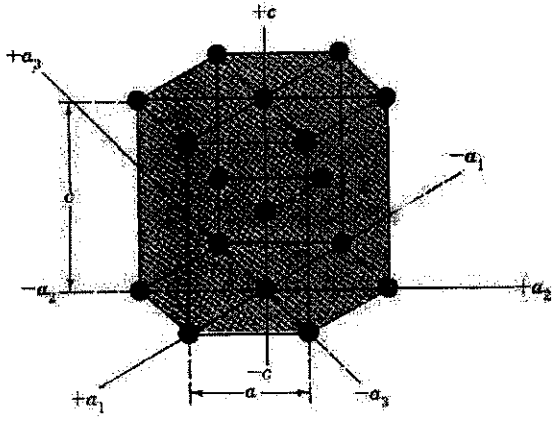


ภาพที่ 2.17 แสดงการมองระนาบในผลึก

ระนาบใดที่มีสภาวะแวดล้อมเหมือนกัน มีจำนวนต่ออะตอมระนาบเหมือนกัน ถือ ว่าเป็นระนาบผลึกที่สมดุลกันและอาจจัดเข้าเป็นชุดเดียวกันได้ เช่นระนาบของผิวหน้าของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มี 6 ด้าน คือ (1 0 0), (0 1 0), (0 0 1), ($\bar{1}$ 0 0), (0 $\bar{1}$ 0) และ (0 0 $\bar{1}$) เป็นระนาบที่สมดุลกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.17

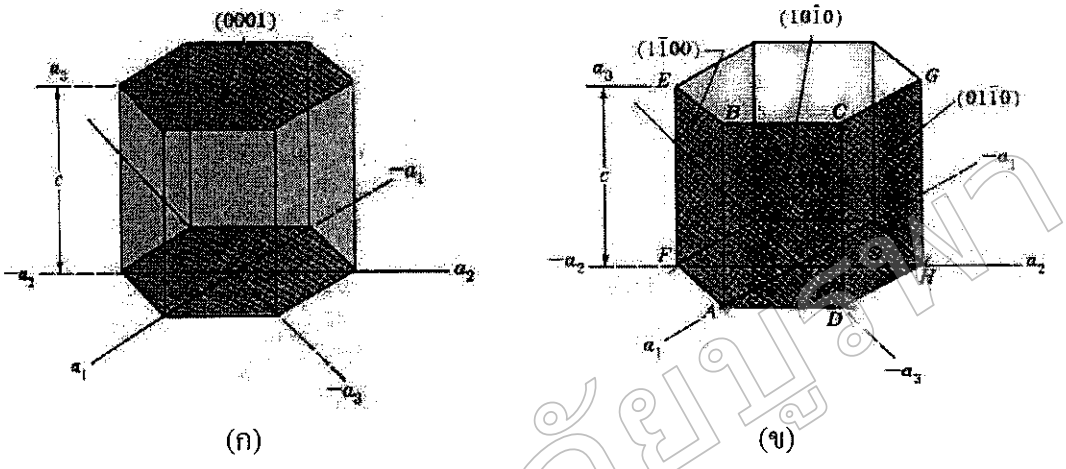
5.2 ดรรชนีระนาบและทิศทางในเซลล์หน่วยเฮกซะโกนัล

ดรรชนีที่ใช้เรียกชื่อระนาบต่าง ๆ ในเซลล์หน่วยเฮกซะโกนัล (หรือเซลล์หน่วย hcp ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น) คือ ดรรชนีมิลเลอร์-พราเวส์ (miller-Bravais indces) จากรูปที่ 2.18 เซลล์หน่วย hcp ประกอบด้วยแกน 4 แกนคือ a_1, a_2, a_3,และ c ถ้าให้ h, k, i, และ l เป็นค่าที่ได้จากส่วนกลับของระยะที่ระนาบที่กำลังพิจารณาตัดแกน a_1, a_2, a_3 และ c ตามลำดับ (hkil) ก็คือดรรชนีมิลเลอร์-บราเวส์ของระนาบนั้น



รูปที่ 2.18 แกน a_1, a_2, a_3 และ c ของเซลล์หน่วย hcp

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



รูปที่ 2.19 เซลล์หน่วย hcp แสดง ก. ระนาบฐาน ข. ระนาบปริซึม

โครงสร้างของเซลล์หน่วย hcp ประกอบด้วยระนาบ 2 แบบคือ

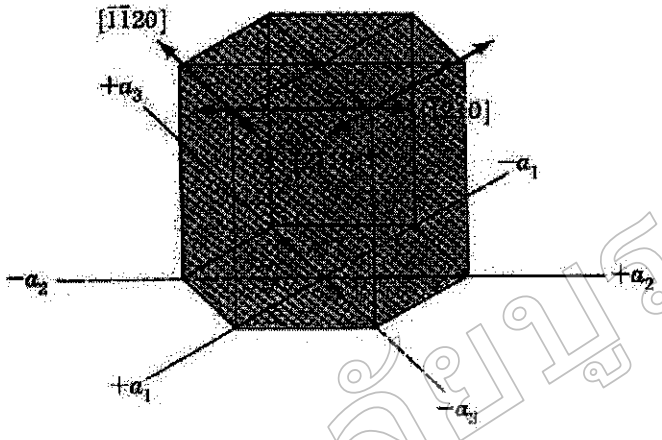
(1) ระนาบฐาน (basal plane) มี 2 ระนาบคือ ระนาบฐานบนและระนาบฐานล่างแกน a_1, a_2, และ a_3 เป็นแกนที่อยู่ในระนาบฐาน ทำมุม 120° ซึ่งกันและกัน ระยะตัดแกน $a_1 = a_2 = a_3 = \infty$ แกนที่ 4 คือแกน C เป็นแกนที่ตั้งฉากกับระนาบฐานทั้ง 2 ซึ่งตัดแกน C ห่างกันเป็นระยะ 1 หน่วย ส่วนกลับของระยะตัดแกนทั้ง 4 จึงเท่ากับ 0, 0, 0, 1 ตามลำดับ ดังนั้นดรรชนีมิลเลอร์-บราเวส์ของระนาบฐานก็คือ (0001)

(2) ระนาบปริซึม (prism plane) มี 6 ระนาบหรือหน้า ดังรูปที่ 2.19 ข. แต่ละหน้ามีระยะตัดแกนคนละชุดกัน ดังอย่างเช่น หน้า ABCD มี $a_1 = +1$, $a_2 = \infty$, $a_3 = -1$ และ $C = \infty$ดรรชนีมิลเลอร์-บราเวส์ของระนาบปริซึมหน้านี้จึงเป็น (1010) ในทำนองเดียวกันระนาบปริซึมหน้า ABEF มีดรรชนี (1100) หน้า DCGF มีดรรชนี (0110) ระนาบปริซึมทุกระนาบในเซลล์หน่วย สามารถแทนได้ด้วยดรรชนีฯ เดียวกันคือ {1010}

บางครั้งการเรียกชื่อระนาบในเซลล์หน่วย hcp อาจระบุด้วย (hkl) คืออาศัยเพียง h, k, และ l โดยที่ $h + k = -i$ แต่การระบุด้วย (hkl) เป็นที่นิยมน้อยกว่า (hkil) ซึ่งแสดงให้เห็นความสมมาตรในเซลล์หน่วย hcp ได้ชัดเจนกว่า

สำหรับทิศทางในเซลล์หน่วย hcp ระบุด้วย [uvtw] เมื่อ u, v, t, และ w เป็นองค์ประกอบเวกเตอร์ในแนวแกน a_1 - a_3 และ c ตามลำดับ โดยที่ $u + v = -t$ ตัวอย่างของเวกเตอร์ทิศทางที่สำคัญในเซลล์หน่วย hcp แสดงดังรูปที่ 2.20

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



รูปที่ 2.20 เวกเตอร์ทิศทางที่สำคัญในเซลล์หน่วย hcp

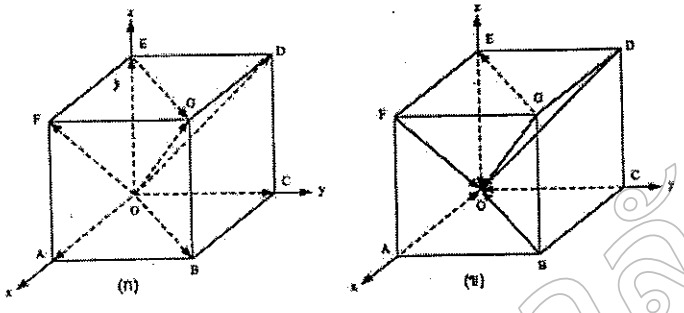
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบฝึกหัด ตอนที่ 2-3

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. การหาทิศทางและระนาบมีประโยชน์คือ .....

2. จากภาพข้างล่าง จงให้ทิศทางและระนาบต่อไปนี้



OG =

OF =

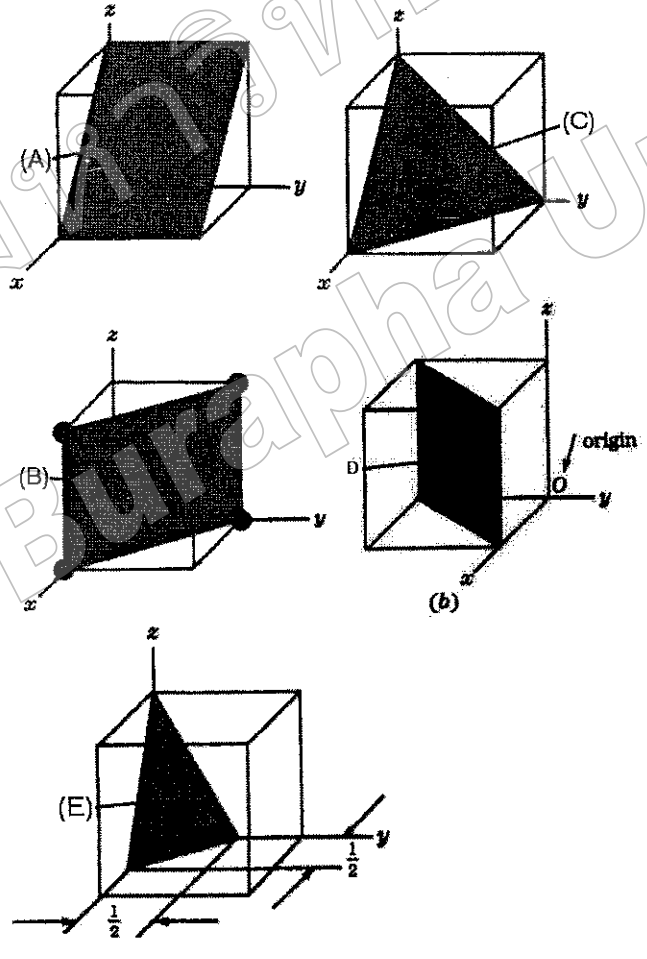
FO =

BO =

DO =

GE =

3. จากภาพข้างล่าง จงหาค่าดัชนีมิลเลอร์ของ Cubic



ดัชนีมิลเลอร์ A คือ

ดัชนีมิลเลอร์ B คือ

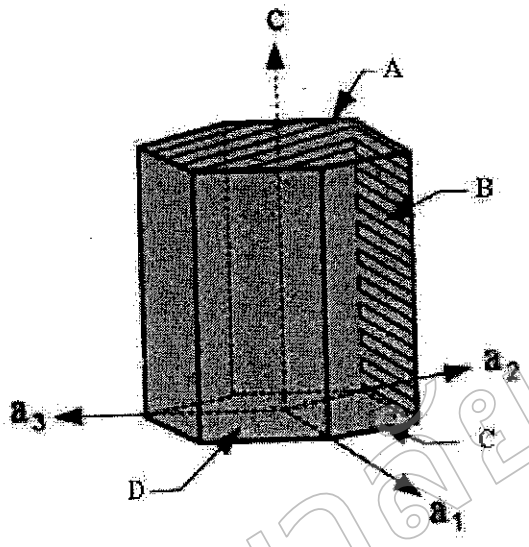
ดัชนีมิลเลอร์ C คือ

ดัชนีมิลเลอร์ D คือ

ดัชนีมิลเลอร์ E คือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. จากภาพข้างล่าง จงหาค่าดัชนีมิลเลอร์ ของ HCP



ดัชนีมิลเลอร์ A คือ

ดัชนีมิลเลอร์ B คือ

ดัชนีมิลเลอร์ C คือ

ดัชนีมิลเลอร์ D คือ

ดัชนีมิลเลอร์ E คือ

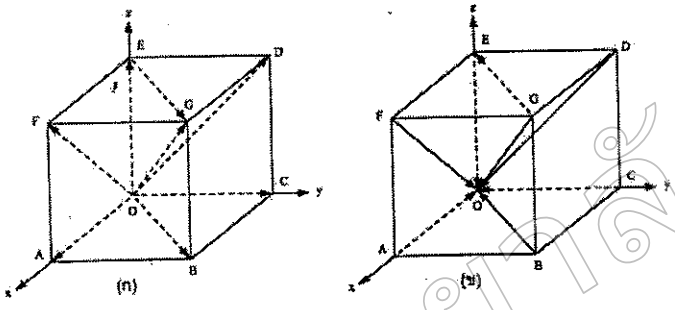
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เฉลยแบบฝึกหัด ตอนที่ 2-3

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. 1. การหาทิศทางและระนาบมีประโยชน์คือ <u>สามารถศึกษาการแปรรูปและคุณสมบัติทางกลของวัสดุได้ดียิ่งขึ้น</u>

2. จากภาพข้างล่าง จงให้ทิศทางและระนาบต่อไปนี้



OG = (111)

OF = (101).

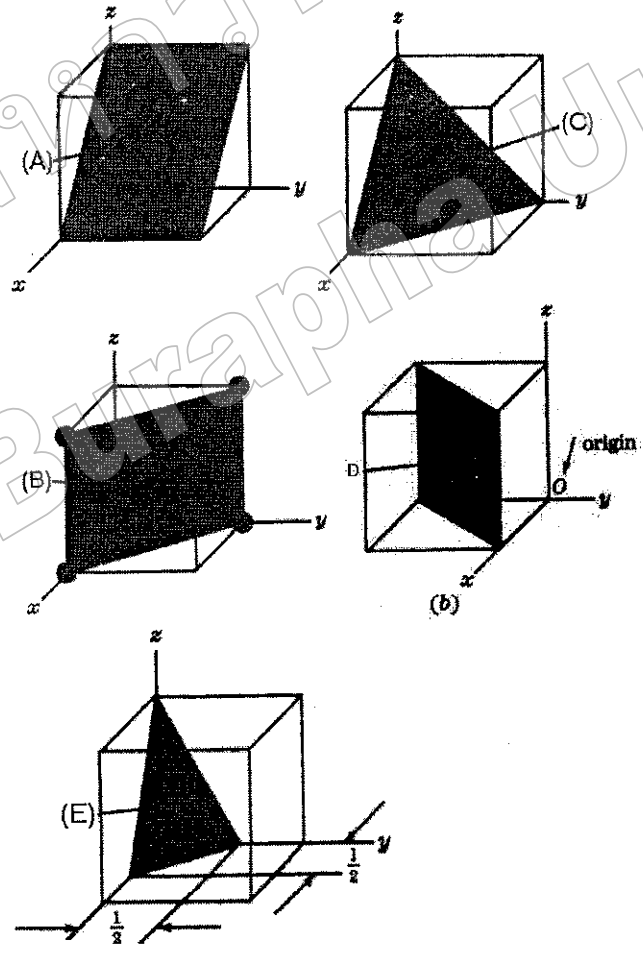
FO = $(11\bar{1})$

BO = $(\bar{1}\bar{1}1)$

DO = $(0\bar{1}\bar{1})$

GE = (111)

3. จากภาพข้างล่าง จงหาค่าดัชนีมิลเลอร์ของ Cubic



ดัชนีมิลเลอร์ A คือ (101)

ดัชนีมิลเลอร์ B คือ (110)

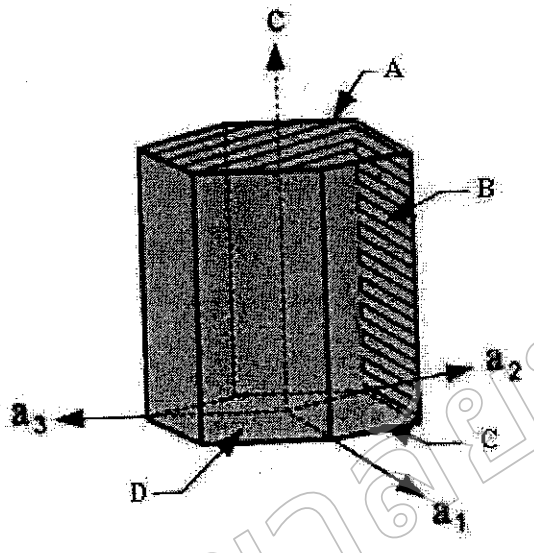
ดัชนีมิลเลอร์ C คือ (111)

ดัชนีมิลเลอร์ D คือ $(1\bar{1}0)$

ดัชนีมิลเลอร์ E คือ (221)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. จากภาพข้างล่าง จงหาค่าดัชนีมิลเลอร์ ของ HCP



ดัชนีมิลเลอร์ A คือ

ดัชนีมิลเลอร์ B คือ

ดัชนีมิลเลอร์ C คือ

ดัชนีมิลเลอร์ D คือ

ดัชนีมิลเลอร์ E คือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง การเกิดผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

1. สาระสำคัญ

ในการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุ ให้เข้าใจถึงแก่นแท้นั้น จะต้องรู้ถึงกระบวนการเกิดและการเปลี่ยนแปลงสภาวะของวัสดุซึ่งเป็นกระบวนการที่อาศัยกระบวนการทางความร้อน จนกระทั่งมีสภาวะเป็นของเหลวก่อน แล้วจึงนำน้ำโลหะนั้นไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ รูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ ในกระบวนการเกิดผลึกของโลหะ

2.2 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.2.1 อธิบายลักษณะประเภทของการเกิดผลึกได้

2.2.2 อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์ได้

2.2.3 บอกความหมายของเฟสได้

2.2.4 อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะผสมได้

2.2.5 อธิบายการแข็งตัวของงานหล่อได้

3. ความรู้พื้นฐานที่ควรมีก่อนเรียน

-

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง การเกิดผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

4. เนื้อหาสาระ

4.1 กระบวนการผลึก

4.2 การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

4.3 การแข็งตัวของโลหะผสม

4.4 การแข็งตัวของงานหล่อ

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นนำ

ครู : ทบทวนเรื่องสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซของโลหะ(ใช้แผ่นใสที่ 23) พร้อมทั้งบอกวัตถุประสงค์การเรียนรู้

5.2 ขั้นให้ข้อมูล

ครู : อธิบายปรากฏการณ์การเกิดผลึก มี 3 ปรากฏการณ์พร้อมยกตัวอย่างประกอบ แต่ที่เกี่ยวข้องกับโลหะมากที่สุดคือขบวนการแข็งตัว(Solidification) (ใบความรู้หน้า 174)

นักศึกษา : ฟัง....ทำความเข้าใจและซักถามข้อสงสัย(ใบความรู้หน้า 174-145)

ครู : ให้ผู้เรียนเปรียบเทียบการเกิดผลึกทั้ง 3 แบบ(ใบความรู้หน้า 174)

นักศึกษา : ร่วมกันสรุป(ใบความรู้หน้า 174-175)

ครู : อธิบายชี้ให้เห็นลำดับขั้นการเกิดผลึกของโลหะบริสุทธิ์(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 23และใบความรู้หน้า 174-175)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจและซักถามข้อสงสัย(ใบความรู้หน้า 174)

ครู +นักศึกษา : ร่วมกันสรุปลำดับขั้นการเกิดผลึกและขบวนการแข็งตัวของโลหะ(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 24 และใบความรู้หน้า 174-175)

ครู : ยกตัวอย่างขบวนการแข็งตัวของโลหะผสม(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 25และใบความรู้หน้า 28)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจและซักถามข้อสงสัย(ใบความรู้หน้า 177)

ครู +นักศึกษา : ร่วมกันสรุปลำดับขั้นการเกิดผลึกและขบวนการแข็งตัวของโลหะ(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 25 และใบความรู้หน้า 177)

ครู : อธิบายชี้ให้เห็นลำดับขั้นการเกิดผลึกของเหล็กหล่อ(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 26และใบความรู้หน้า 174-175)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจและซักถามข้อสงสัย(ใบความรู้หน้า 174-175)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง การเกิดผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

ครู +นักศึกษา : ร่วมกันสรุปลำดับขั้นการเกิดผลึกและขบวนการแข็งตัวของโลหะ(ใช้สื่อแผ่นใสที่24-26 และใบความรู้หน้า 174-176)

5.3 ขั้นพยายาม

ครู : ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดที่ 2/4 โดยใช้เวลา 10 นาที

นักศึกษา : ทำแบบฝึกหัด

6. 2 สื่อการเรียนการสอน

6.1 แผ่นใสที่23-26

6.1.1 ใบความรู้ ที่ 4/1 เรื่องการเกิดผลึก

7. การวัดและประเมินผล

7.1 เครื่องมือวัด : แบบฝึกหัด เรื่องโครงสร้างอะตอม

วิธีการวัด : นักศึกษาทำแบบฝึกหัด

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินผลความรู้ในเนื้อหา ตามเกณฑ์ที่กำหนดคะแนนที่ได้ต้องผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

7.2 เครื่องมือวัด : แบบสังเกตพฤติกรรมเกี่ยวกับคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์

วิธีการวัด : สังเกตโดยผู้สอน

เกณฑ์การประเมิน : ประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบประเมิน

8. กิจกรรมข้อเสนอแนะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 4

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง การเกิดผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ ในกระบวนการเกิดผลึกของโลหะ

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 อธิบายลักษณะประเภทของการเกิดผลึกได้

2.2 อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์ได้

2.3 บอกความหมายของเฟสได้

2.4 อธิบายขบวนการแข็งตัวของโลหะผสมได้

2.5 อธิบายการแข็งตัวของงานหล่อได้

3. รายการสอน

3.1 กระบวนการผลึก

3.2 การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

3.3 การแข็งตัวของโลหะผสม

3.4 การแข็งตัวของงานหล่อ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเกิดผลึก (Crystallization)

ผลึกจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งเป็นอีกสภาวะหนึ่ง ดังเงื่อนไขที่ควรนำมาพิจารณาดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของเหลวเป็นสภาวะของแข็ง เรียกว่าขบวนการเกิดผลึก (Crystallization) หรือขบวนการแข็งตัว (Solidification)

2. การเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งชนิดหนึ่งเป็นสภาวะของแข็งอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า รีคริสตัลไลเซชั่น (Recrystallization) ถ้าของแข็งเนื้อเดียวเปลี่ยนเป็นสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ของแข็งหลายเฟส เรียกว่า เกิดการแยกตัวหรือแตกตัว (Exsolution)

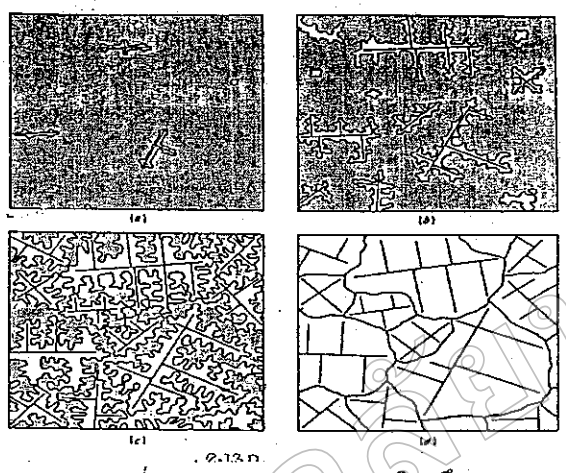
3. การเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งเป็นสภาวะแก๊สเรียกว่า เกิดการระเหิด (Sublimation) แต่เงื่อนไขนี้ไม่พบเห็นในขบวนการเกิดผลึก แต่เป็นการบ่งบอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะของสารจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของเหลวเป็นสภาวะของแข็ง หรือขบวนการแข็งตัว (Solidifation) เนื่องจากอุตสาหกรรมการ ผลิตโลหะ เช่น การถลุง การหล่อ ฯลฯ เป็นการให้ความร้อนแก่โลหะจนกระทั่งมีสภาวะเป็นของเหลวก่อน แล้วจึงนำน้ำโลหะนั้นไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆ ตามต้องการ

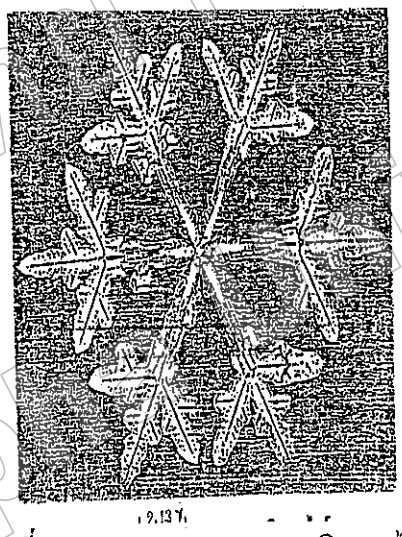
ในสภาวะของเหลวอนุภาคของธาตุหรือของโลหะจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะลดลง เนื่องจากสูญเสียความร้อนแฝงจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิหนึ่งเรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature) อนุภาคบางส่วนจะหยุดการเคลื่อนที่เกิดการดึงดูดระหว่างอนุภาคเกิดเป็นของแข็งจุดเล็กๆ เป็นแกนกลางของผลึก เรียกว่า เกิดนิวเคลียส (Nucleation) เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและการเปลี่ยนแปลงเวลานานขึ้น อนุภาคที่เกิดเป็นนิวเคลียสก็จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนโตขึ้นหลายกลุ่ม แตกเป็นแขนงแบบเดนไดร์ท (Dendritic) เรียกว่า ผลึกแบบเดนไดร์ท แล้วผลึกแบบเดนไดร์ท แต่ละกลุ่มก็จะขยายตัวจนกระทั่งไปชนกับผลึกอื่น ก็จะหยุดการเติบโต ซึ่งเรียกว่าผลึกรูปขนนกเกิดการเติบโต (Dendritic Growth) เมื่อผลึกเติบโตจนกระทั่งชนกันทุกกลุ่ม ทำให้ผลึกเกิดขึ้นจำนวนมาก มีขนาด, รูปร่าง และทิศทางการกระจายตัวแตกต่างกันผลึกที่เกิดเรียกว่า โพลีคริสตัส (Polycrystalls) รอยต่อระหว่างผลึกแต่ละผลึกที่ขยายตัวมาชนนั้นเรียกว่า ขอบเกรน (Grain Boundary) ส่วนที่อยู่ภายในขอบเกรนก็เรียกว่า เกรน (Grain) ขบวนการที่เกิดปรากฏการณ์เปลี่ยนสภาวะจากของเหลวจนกระทั่งเกิดเกรนอย่างสมบูรณ์นั้นเราเรียกว่า ขบวนการเกิดผลึก หรือขบวนการแข็งตัว (Crystallization or Solidiffication)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

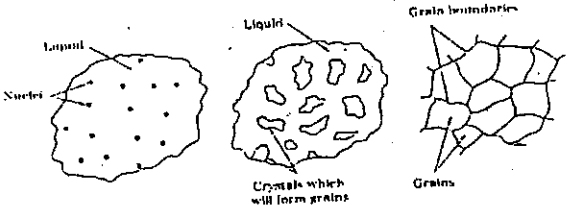
ขบวนการแข็งตัวดังกล่าว ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสภาวะตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งเสร็จสิ้นการเปลี่ยนแปลง แสดงได้ด้วยรูปภาพดังรูปที่ 2.19 และ 2.20



ภาพที่ 2.19 ก. ภาพแสดงการเกิดผลึก



ภาพที่ 2.19 ข. ภาพแสดงการเกิดเดนไดร์ท

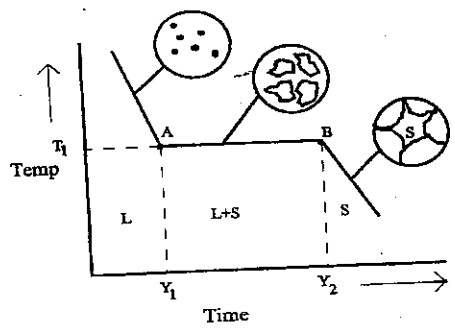


ภาพที่ 2.20 ภาพแสดงการเปลี่ยนสภาวะจากโลหะหลอมเหลวเป็นของแข็ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ขบวนการแข็งตัวของโลหะแบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

1. การแข็งตัวที่อุณหภูมิคงที่ (โลหะบริสุทธิ์)



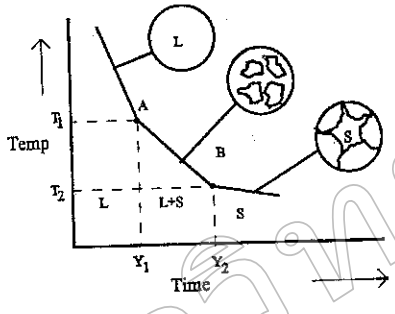
ภาพที่ 2.21 การแข็งตัวของโลหะบริสุทธิ์

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มการเปลี่ยนแปลงและสิ้นสุดการเปลี่ยนแปลง บางทีเรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature)

A คือ จุดเริ่มการแข็งตัว (Freezing point)

B คือ จุดสิ้นสุดการแข็งตัว

2. การแข็งตัวที่อุณหภูมิไม่คงที่ (โลหะผสม)



ภาพที่ 2.22 การแข็งตัวของโลหะผสม

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว หรือ อุณหภูมิวิกฤตสูง (Upper critical temp)

T_2 คือ อุณหภูมิสิ้นสุดการแข็งตัว หรือ อุณหภูมิวิกฤตต่ำ (Low critical temp)

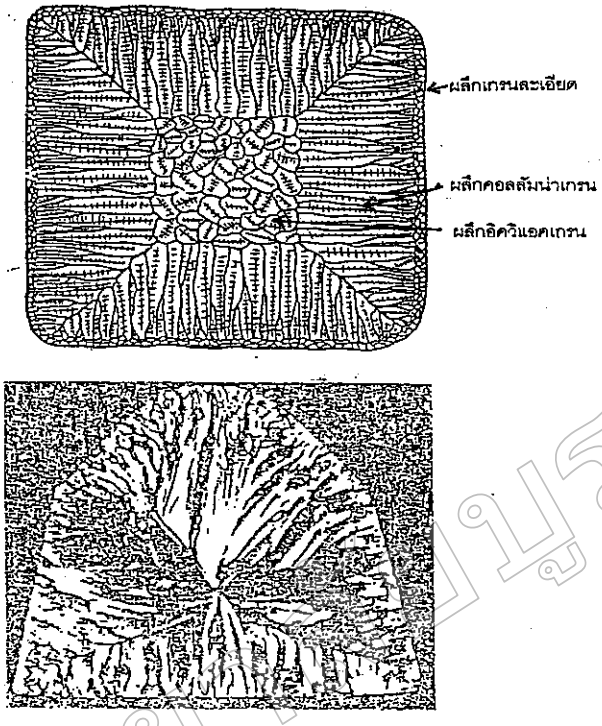
A คือ จุดเริ่มต้นการแข็งตัว

B คือ จุดสิ้นสุดการแข็งตัว

4. การแข็งตัวของงานหล่อ

ชิ้นงานหล่อได้จากการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อ (Mold) ดังนั้น เมื่อน้ำโลหะสัมผัสกับแบบหล่อจะถูกแบบหล่อดึงความร้อนจากน้ำโลหะ ทำให้เกิดการเย็นตัวเร็ว น้ำโลหะส่วนที่ไม่สัมผัสกับแบบหล่อก็จะถูกดึงความร้อนต่อไป ทำให้เกิดการเย็นตัวช้ากว่าที่ผิว ซึ่งการเย็นตัวไม่พร้อมกัน จะทำให้เกิดแข็งตัวไม่พร้อมกัน เกิดผลึกที่ขนาดและรูปร่างต่างกัน คือผลึกที่เกิดจากการเย็นตัวเร็วจะมีขนาดเล็กเรียกว่า ผลึกเกรนละเอียด (Fine grain) ผลึกที่เกิดจากการเย็นตัวช้าที่สุดจะเป็นกลุ่มก้อนโตเรียกว่า อิควิแอคเกรน(Equiaxed grain) และผลึกที่เกิดจากการเย็นตัวปานกลางจะมีลักษณะเป็นแถบยาวเรียกว่าคอลลัมม่าเกรน(Collumnar grain) ดังรูป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



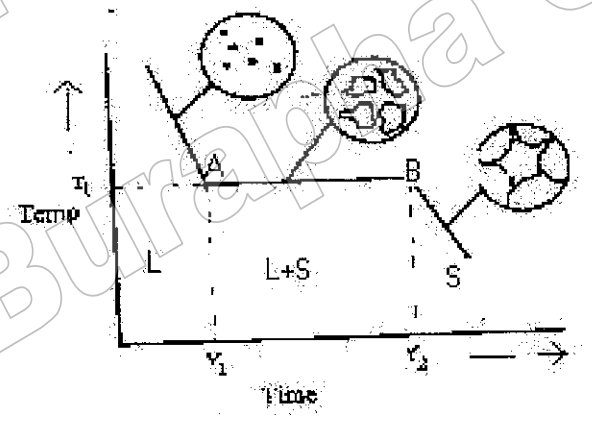
รูปที่ 2.23 ภาพแสดงโครงสร้างผลึกชิ้นงานหล่อแลแท่งโลหะ (Ingot)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบฝึกหัด ตอนที่ 2-4

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. เงื่อนไขของการเกิดผลึกมี 3 ประการคือ
   1. ……...
   2. ……...
   3. ……...
2. การเกิดผลึก(Crystallization) ของโลหะหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ……
3. ในสภาวะที่โลหะเป็นของเหลวอนุภาคจะมีลักษณะเช่นไร ……..
4. อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกเรียกว่า ……...
5. จุดเล็ก ๆ ที่แกนกลางของผลึก เรียกว่า ……..
6. ผลึกแบบเดนไดรท์ (Dendritic) เกิดจาก ……
7. Dendritic Growth หมายถึง ……
8. Polycrystalls หมายถึง ……..
9. Grain Boundary หมายถึง ……
10. จากภาพข้างล่าง จงตอบคำถามให้ถูกต้อง



T_1 คือ

……

A คือ ……..

B คือ ……..

L คือ ……..

L+S คือ ……

S คือ ……..

11. ลำดับขั้นการเย็นตัวของงานหล่อ เริ่มจาก 1…….. 2…….. 3. …… 4……

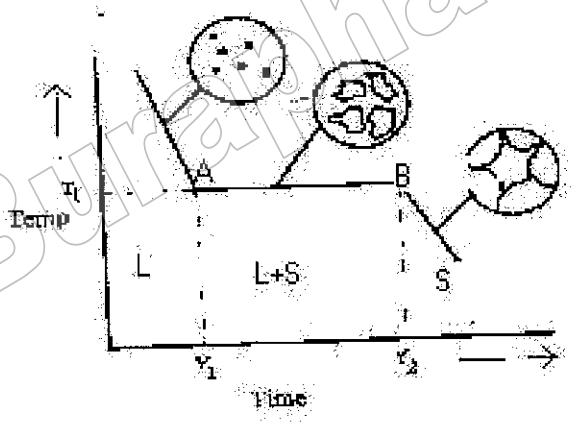
……

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เฉลยแบบฝึกหัด ตอนที่ 2-4

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. เงื่อนไขของการเกิดผลึกมี 3 ประการคือ
   1. <u>การเปลี่ยนแปลงจากสภาวะของเหลวเป็นสภาวะของ</u>แข็ง หรือ<u>กระบวนการเกิดผลึก Crystallization หรือขบวนการแข็งตัว (Solidification)</u>
   2. <u>การเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งชนิดหนึ่งเป็นสภาวะของแข็งอักชนิดหนึ่ง เรียกว่า Recryslattization</u>
   3. <u>การเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งเป็นสภาวะแก๊ส เรียกว่าการระเหิด (Sublimation)</u>
2. การเกิดผลึก(Crystallization) ของโลหะหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า <u>ขบวนการแข็งตัว (Sublimation)</u>
3. ในสภาวะที่โลหะเป็นของเหลวอนุภาคจะมีลักษณะเช่นไร <u>จะเคลื่อนที่ตลอดเวลา</u>
4. อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกเรียกว่า <u>อุณหภูมิวิกฤต</u>
5. จุดเล็ก ๆ ที่แกนกลางของผลึก เรียกว่า <u>การเกิดนิวเคลียส</u>
6. ผลึกแบบเดนไดรท์ (Dendritic) เกิดจาก <u>นิวเคลียสรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนหลายกลุ่มแตกแขนง</u>
7. Dendritic Growth หมายถึง <u>ผลึก dendritic ขยายตัวไปชนกับผลึกอื่น หยุดเติบโต</u>
8. Polycrystalls หมายถึง <u>ขนาดรูปร่างและทิศทางของผลึกกระจายตัวแตกต่างกัน</u>
9. Grain Boundary หมายถึง <u>ขอบเกรน</u>
10. จากภาพข้างล่าง จงตอบคำถามให้ถูกต้อง



T_1 คือ <u>อุณหภูมิเริ่มการเปลี่ยนแปลงและสิ้นสุด</u>

A คือ <u>จุดเริ่มการแข็งตัว</u>

B คือ <u>จุดสิ้นสุดการแข็งตัว</u>

L คือ <u>สถานะของเหลว</u>

L+S คือ <u>สถานะของเหลว+ของแข็ง</u>

S คือ <u>สถานะของแข็ง</u>

11. ลำดับขั้นการเย็นตัวของงานหล่อ เริ่มจาก 1. <u>Fine</u> grain 2. <u>Columnar</u> grain 3. <u>Equiaxed</u> grain

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ข้อบกพร่องในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

1. สาระสำคัญ

ปกติแล้วผลึกของโลหะจะมีขนาดเล็ก ดังนั้นโลหะโดยทั่วไปจึงประกอบด้วยผลึกจำนวนมาก แต่ละผลึกจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีขอบเขตชัดเจน เรียกว่าเกรน แต่ละเกรนของโลหะมีการเรียงตัวที่ต่างกัน ถ้าโลหะเย็นตัวอย่างช้า ๆ จะสามารถแข็งตัวกลายเป็นเกรนเดี่ยว ตามปกติแล้วผลึกในเกรนของโลหะนั้นจะไม่สมบูรณ์ แต่จะมีตำหนิหรือข้อปกพร่องอยู่เสมอ ซึ่งมีผลกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติของโลหะเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาชนิดของข้อบกพร่องภายในผลึกของโลหะเพื่อศึกษาโครงสร้างของผลึกที่แท้จริง

2. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจชนิดของข้อบกพร่องภายในผลึกของโลหะ

2.2 วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.2.1 บอกถึงสาเหตุของการทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลึกได้

2.2.2 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องจุดได้

2.2.3 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่เป็นเส้นได้

2.2.4 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่ผิวหน้าได้

3. ความรู้พื้นฐานที่ควรมีก่อนเรียน

- โครงสร้างผลึก

4. เนื้อหาสาระ

4.1 ข้อบกพร่องจุด

4.1.1 ที่ว่าง

4.1.2 อะตอมแทรกตัว

4.1.3 ที่ว่างไอออนคู่

4.1.4 ไอออนเกิดการกระจัด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ข้อบกพร่องในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

4.2 ข้อบกพร่องตามแนวเส้น

4.2.1 แนวบกพร่องขอบ

4.2.2 แนวบกพร่องแบบเกลียว

4.2.3 แนวบกพร่องผสม

4.3 ข้อบกพร่องตามระนาบ

4.3.1 ขอบเกรน

4.3.2 ระนาบแฝด

4.3.3 ขอบเอียง

4.3.4 การเรียงระนาบไม่เป็นไปตามลำดับ

5. กิจกรรมการเรียนการสอน

5.1 ขั้นนำ

ครู : ยกตัวอย่างวัสดุในงานวิศวกรรม โดยเฉพาะโลหะมักจะมีผลกระทบจนได้รับความเสียหายอยู่อย่างสม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากการเกิดผิดปกติของผลึก เช่นการมีปัญหาในเรื่องการขึ้นรูปด้วยคมตัดไม่สามารถขึ้นรูปได้อย่างราบรื่นเพราะมีบางส่วนของเนื้อโลหะผิดปกติไปจากเดิม เป็นต้น หรือการชำรุดของวัสดุก่อนเวลาอันควร เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เกิดจากสาเหตุมาจากความไม่สมบูรณ์ของการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึกนั่นเอง พร้อมกับแจกใบความรู้และบอกจุดประสงค์การเรียนรู้

5.2 ขั้นให้ข้อมูล

ครู : อธิบายลักษณะการเกิดข้อบกพร่องจุดซึ่งส่วนมากมักเกิดกับโลหะบริสุทธิ์โดยแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะคือ ที่ว่าง อะตอมแทรกตัว ที่ว่างไอออนคู่ และไอออนเกิดการกระจัด (ใช้สื่อแผ่นใสที่ 27และใบความรู้หน้า 187-188)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจ(ใบความรู้หน้า 187-188)

ครู : ซักถามถึงสาเหตุที่เกิดข้อบกพร่องแบบจุดทั้ง 4 แบบ

นักศึกษา : ช่วยกันตอบคำถาม(ใบความรู้หน้า 187-188)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แผนการสอนทฤษฎี

วิชา โลหะวิทยา 3100-0117 **ระดับชั้น ปวส.2สาขาวิชาเทคนิคการผลิต**

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ข้อบกพร่องในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

ครู+นักศึกษา : สรุปลักษณะการเกิดข้อบกพร่องแบบจุด(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 27และใบความรู้หน้า 187-188)

ครู : อธิบายแนวบกพร่องพร้อมยกตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดแนวบกพร่องทั้ง 3 ลักษณะ คือ แนวบกพร่องขอบ แนวบกพร่องเกลียว และ แนวบกพร่องผสม(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 28-30และใบความรู้หน้า 188-189)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจจากใบความรู้หน้า 188-189

ครู : ถามถึงสาเหตุของการเกิดแนวบกพร่อง

นักศึกษา : ช่วยกันตอบคำถาม

ครู : สรุปลักษณะการเกิดแนวบกพร่องโดยแสดงผลด้วยสื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสาธิตวิธีการหาทิศทางในผลึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

นักศึกษา : ศึกษาจากภาพเคลื่อนไหวจากสื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ครู : อธิบายถึงการเกิดระนาบบกพร่องทั้ง 4 ลักษณะ และยกตัวอย่างประกอบและถาม-ตอบระหว่างการอธิบาย(ใช้สื่อแผ่นใสที่ 31-32และใบความรู้หน้า 189-191)

นักศึกษา : ฟัง...ทำความเข้าใจจากใบความรู้และถามข้อสงสัย

ครู : สรุป

5.3 ขั้นพยายาม

ครู : ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดที่ 2/5 โดยใช้เวลา 15 นาที

นักศึกษา : ทำแบบฝึกหัด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 5

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ข้อบกพร่องในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจชนิดของข้อบกพร่องภายในผลึกของโลหะ

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 บอกถึงสาเหตุของการทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลึกได้

2.2 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องจุดได้

2.3 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่เป็นเส้นได้

2.4 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่ผิวหน้าได้

3. รายการสอน

3.1 ข้อบกพร่องจุด

3.2 ข้อบกพร่องตามแนวเส้น

3.3 ข้อบกพร่องตามระนาบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่5

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง ข้อบกพร่องในผลึก**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 60 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจชนิดของข้อบกพร่องภายในผลึกของโลหะ

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 บอกถึงสาเหตุของการทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลึกได้

2.2 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องจุดได้

2.3 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่เป็นเส้นได้

2.4 อธิบายลักษณะข้อบกพร่องที่ผิวหน้าได้

3. รายการสอน

3.1 ข้อบกพร่องจุด

3.2 ข้อบกพร่องตามแนวเส้น

3.3 ข้อบกพร่องตามระนาบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ใบความรู้ที่ 1

ชื่อหน่วย โครงสร้างของอะตอมและการเกิดผลึก **เรื่อง โครงสร้างอะตอม**

เทคนิควิธีที่ใช้สอน บรรยาย **เวลา 80 นาที**

1. วัตถุประสงค์ทั่วไป(ปลายทาง)

เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ โครงสร้างของอะตอมและการยึดเหนี่ยวของอะตอม รวมทั้งมีความสามารถจัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอน

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม(นำทาง)

2.1 บอกส่วนประกอบต่าง ๆของอะตอมได้

2.2 บอกคุณสมบัติของกลุ่มธาตุได้

2.3 จัดเรียงตัวจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมได้

2.4 อธิบายลักษณะการยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบ Ionic, Covalenceและ Metallic ได้

3. รายการสอน

3.1 ส่วนประกอบอะตอม

3.2 วงโคจรอิเล็กตรอน

3.3 ตารางธาตุ

3.4 พันธะอะตอม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

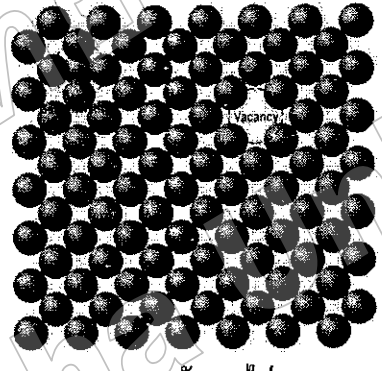
ข้อบกพร่องในผลึก (Imperfection in crystal)

อันที่จริงพบว่าโดยปกติผลึกในเกรนโลหะนั้นจะมีข้อบกพร่องหรือทีตำหนีเสมอ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสมบัติของโลหะเป็นอย่างมาก ข้อบกพร่องภายในโลหะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. ข้อบกพร่องชนิดจุด (Point Imperfection)
2. ข้อบกพร่องตามแนวเส้น (Line Imperfection)
3. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า (Surface Imperfection)

1. ข้อบกพร่องชนิดจุด มักจะพบเสมอในธาตุบริสุทธิ์ หรือผลึกที่อะตอมยึดเหนี่ยวกันแบบอิออนิก ลักษณะข้อบกพร่องจุดที่เป็นไปได้มีดังนี้

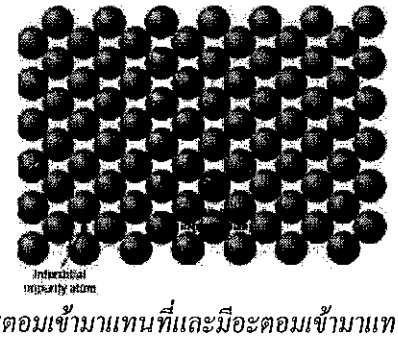
- ที่ว่าง(Vacancy) เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากอะตอมบางส่วนหายไป ทำให้ตรงตำแหน่งที่อะตอมหายไปนั้นกลายเป็นจุดว่างลักษณะความบกพร่องแบบนี้อาจเกิดขึ้นขณะที่อะตอมกำลังจัดตัวในระหว่างการเติบโตของผลึก หรือเกิดขึ้นเมื่อมีการสั่นของอะตอมเนื่องจากความร้อน



ภาพที่ 2.24 อะตอมบางตัวหายไป(Vacancy)

- อะตอมแทรกตัว(interstitial impurity atom) เกิดจากอะตอมของสิ่งเจือปนของสารอื่นแทรกอยู่ระหว่างอะตอมของธาตุหลัก โดยเฉพาะในผลึกที่มีการอัดตัวของอะตอม(APF) ต่ำ อะตอมที่เกินมาจะเข้าไปแทรกตัวในช่องว่างระหว่างอะตอมทำให้โครงสร้างผลึกบิดเบี้ยว(distortion)ทำให้โครงสร้าง

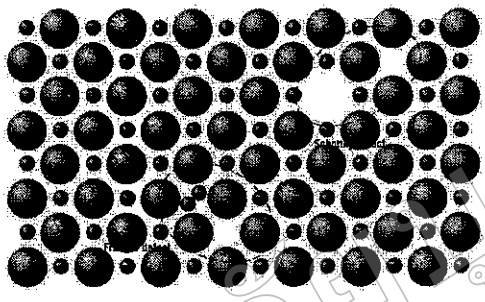
- อะตอมเข้าแทนที่(Substitutional impurity atom) เกิดจากอะตอมของสิ่งเจือปนอื่น ๆ มาแทนที่อะตอมของธาตุหลัก



ภาพที่ 2.25 อะตอมเข้ามาแทนที่และมีอะตอมเข้ามาแทรก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นอกจากนี้ยังมีจุดบกพร่องที่ซับซ้อนขึ้นไปอีก เช่น จุดบกพร่องที่มีจุดว่างอยู่หลายจุด เช่น อาจจะสองจุด(di-vacancies) หรือสามจุด(tri-vacancies) อัดกันอยู่ในผลึก อะตอมอาจจะหลุดออกจากตำแหน่งเดิม ทำให้มีจุดว่างเพิ่มขึ้น ข้อบกพร่องที่ประกอบด้วยจุดว่างและมีการแทรกตัวของอะตอม เรียกว่า Frenkel imperfection เมื่อจุดว่างเกิดจากอิออนบวกร่วมกับอิออนลบเรียกรวมกันว่า Schottky imperfection

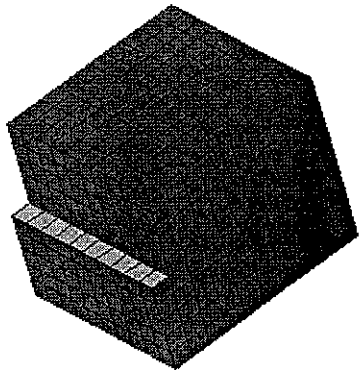


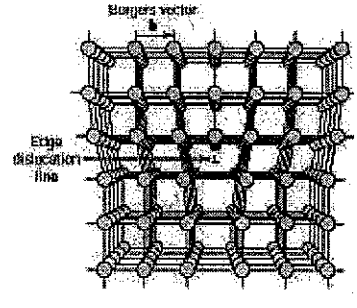
ภาพที่ 2.26 ลักษณะการเกิด Frenkel และ Schottky imperfection

โดยทั่วไป Schottky imperfection มักจะเกิดมากกว่า Frenkel imperfection สำหรับโครงสร้างที่มีช่องใหญ่พอที่จะละลายเอาประจุบวกเข้าไปโดยไม่เกิดความเครียด เช่น ฟลูออร์ไรท์(CaF_2) ซึ่งมีช่องโตพอสมควรอิออนบวกจะเข้าไปแทรกและทำให้เกิด Frenkel imperfection

2. ข้อบกพร่องที่เป็นเส้น การเรียงตัวของอะตอมจะผิดพลาดตลอดแนว บางครั้งเรียกข้อบกพร่องชนิดนี้ว่า dislocation มี 2 แบบ คือ

- ข้อบกพร่องเกิดขึ้นตรงบริเวณขอบ (edge dislocation) เกิดจากมีระนาบของอะตอมเกินมาในผลึก บริเวณแนวเส้นบกพร่องจะเกิดความเครียดขึ้น 2 ชนิด คือเกิดความเครียดอัดรอบ ๆ ขอบที่เกินมา และเกิดความเครียดดึงตรงใต้ของที่เกินมา ทำให้อะตอมที่อยู่บริเวณนี้เคลื่อนที่ไปรอบ ๆ แนวเส้น บกพร่อง ขนาดและทิศทางของอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแทนด้วย Slip vector หรือ Burgers vector แทนด้วย b แนวแกนของระนาบอะตอมนี้แทนด้วย หรือ ⊥ โดยทิศของ b จะตั้งฉากกับทิศของแนวเส้นบกพร่อง

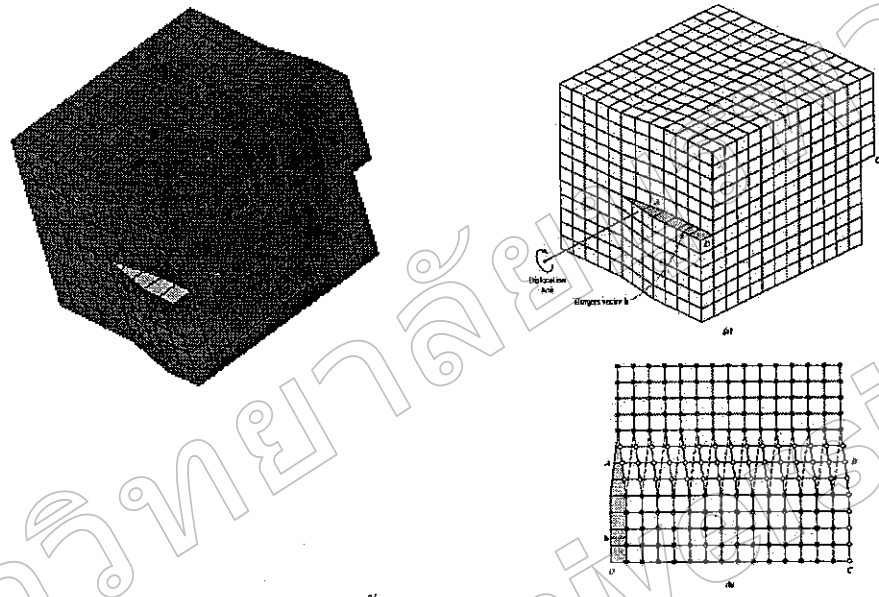




ภาพที่ 2.26 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณขอบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

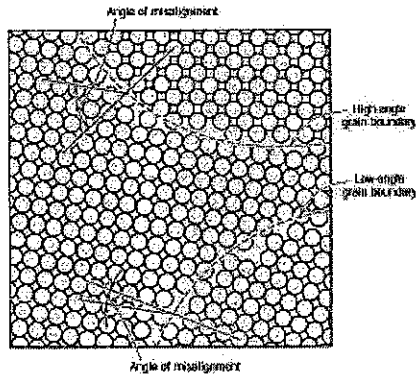
- ข้อบกพร่องแบบเกลียว (screw dislocation) ระนาบของอะตอมในแนวใดแนวหนึ่งเลื่อนขึ้นหรือลดต่ำลงจากระดับปกติ ทำให้มีลักษณะคล้ายเกลียวหมุนรอบแกนซึ่งเป็นตำแหน่ง dislocation line ข้อบกพร่องนี้เกิดขึ้นเมื่อผลึกโลหะได้รับความเค้นเฉือน เวกเตอร์การเลื่อน b จะขนานกับแนวเส้นบกพร่อง



ภาพที่ 2.27 ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณขอบ

3. ข้อบกพร่องในระนาบ เป็นความบกพร่องของผลึกที่เกี่ยวข้องกับอะตอมหลาย ๆ อะตอมและหลายแถวในระนาบหนึ่ง ๆ ที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่

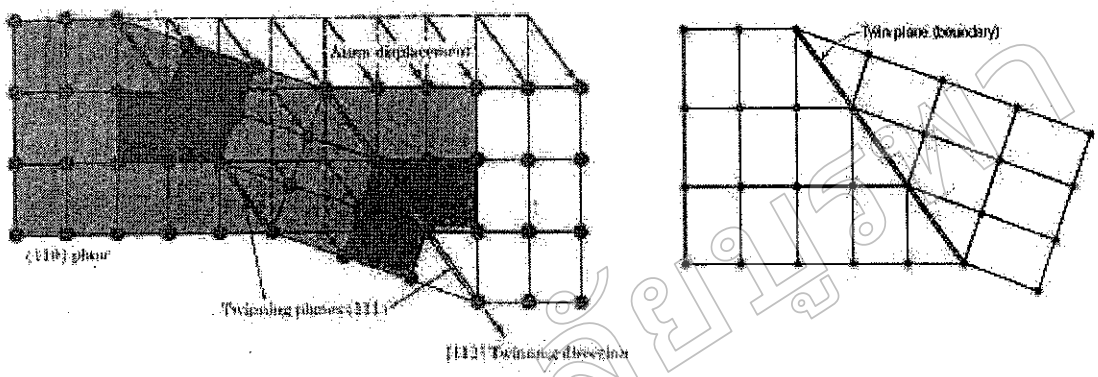
- Grain Boundary (เกรน หมายถึง บริเวณที่ผลึกเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน) ทิศของแต่ละเกรนจะแตกต่างกันไป ขนาดและรูปร่างของเกรนจะถูกจำกัดโดยเกรนอื่นที่อยู่โดยรอบบริเวณรอยต่อของเกรนจะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมไม่เป็นระเบียบนัก อะตอมจะมีรูปร่างและขนาดไม่คงที่สามารถเปลี่ยนย้ายจากเกรนหนึ่งไปยังอีกเกรนหนึ่งได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อบกพร่องตามธรรมชาติของขอบเกรน



ภาพที่ 2.28 ลักษณะของอะตอมที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ในตำแหน่งขอบเกรน

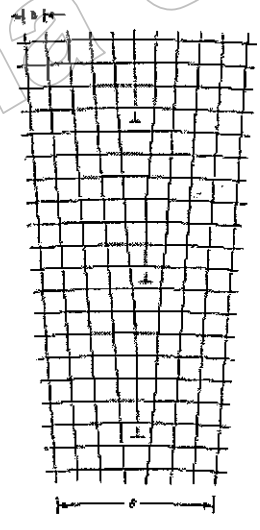
มหาวิทยาลัยนเรศวร Burapha University

- Twin plane เป็นความบกพร่องซึ่งเกิดจากระนาบของผลึกได้รับแรงเฉือนสม่ำเสมอจนทำให้อะตอมในแนวแรงของระนาบนั้นเคลื่อนที่ไปตามแนวแรงที่กระทำ การเรียงตัวที่ต่างไปจากเดิมทำให้แบ่งบริเวณได้เป็น 2 ส่วนมีลักษณะคล้ายส่วนหนึ่งเป็นเงาในกระจกของส่วนหนึ่ง



ภาพที่ 2.29 แสดง การเกิด Twinnimg ในผลึก tetragonal

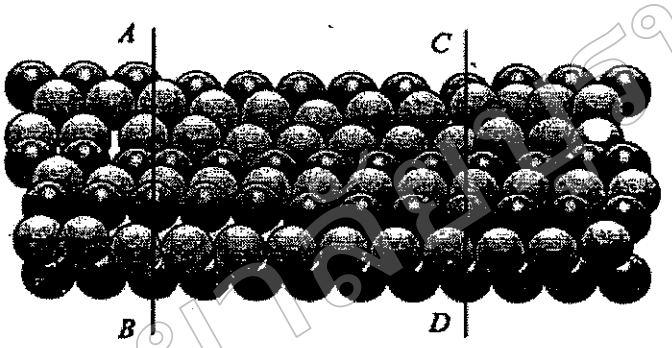
- Tilt Boundary) เป็นลักษณะความข้อบกพร่องเกิดจากแนวบกพร่องมาอยู่ในบริเวณเดียวกันมากกว่า 1 แนว ทำให้ขอบผลึกเอียงเข้าหากัน ดังรูป



ภาพที่ 2.30 ลักษณะการเกิดแนวบกพร่องมากกว่า 1 แนว

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- Stacking fault เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากการเรียงระนาบไม่เป็นไปตามลำดับที่ถูกต้อง เพราะอะตอมในระนาบนั้นหายไปทั้งระนาบ เช่นโครงสร้างผลึกแบบ fcc นับจากล่างสุดจะเริ่มต้นด้วยระนาบ A, B และ C ตามลำดับ เขียนการเรียงตัวจะได้เป็น ABCABCABC..ถ้าระนาบหนึ่งระนาบใดหายไป ABCAB/ABC… สัญลักษณ์ "/" ใช้เขียนแทนระนาบที่หายไป ซึ่งถือว่าเป็นความบกพร่องแบบ stacking fault



ภาพที่ 2.31 แสดงการเกิดระนาบไม่เรียงตัวตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบฝึกหัด ตอนที่ 2-5

<u>จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง</u>

1. ข้อบกพร่องของผลึก (Crystal defection) เกิดขึ้นจากสาเหตุ .....
   .....
2. ข้อพร่องในผลึกแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ
   1. .....
   2. .....
   3. .....
3. ความบกพร่องจุดมักเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ
   1. .....
   2. .....
   3. .....
4. การเกิดผลึก (Crystallization) หรือ การเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation) ทำให้เกิดข้อ บกพร่องมีลักษณะ .....
5. ข้อบกพร่องเป็นแนวเส้น แบ่งได้ 3 ลักษณะ
   1. .....มีลักษณะ .....
   .....
   2. .....มีลักษณะ.....
   .....
   3. .....มีลักษณะ.....
   .....
6. จงบอกข้อบกพร่องที่ผิวหน้ามา 3 ลักษณะ
   1. ..... หมายถึง .....
   .....
   2. ..... หมายถึง.....
   .....
   3 . ..... หมายถึง.....
   .....

.....

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เฉลยแบบฝึกหัด ตอนที่ 2-5

จงเติมคำลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. ข้อบกพร่องของผลึก (Crystal defection) เกิดขึ้นจากสาเหตุ ความไม่สมบูรณ์ของผลึกซึ่งเกิดจากกรรมวิธีการผลิต เช่น การหล่อ การขึ้นรูปร้อน การรีด
2. ข้อพร่องในผลึกแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ
   1. ข้อบกพร่องแบบจุด
   2. ข้อบกพร่องตามแนวเส้น
   3. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า
3. ความบกพร่องจุด เกิดได้ 3 ลักษณะ
   1. เกิดจากอะตอมบางส่วนหายไป ทำให้ตรงตำแหน่งที่หายไปนั้นกลายเป็นจุดว่าง(Valency)
   2. เกิดจากอะตอมของสิ่งเจือปนอื่น ๆ มาแทนที่อะตอมของธาตุหลัก(Substitution impurity atom)
   3. เกิดจากอะตอมของสิ่งเจือปนของสารอื่นแทรกอยู่ระหว่างอะตอมของธาตุหลัก
4. การเกิดผลึก (Crystallization) หรือ การเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation) ทำให้เกิดข้อ บกพร่องมีลักษณะ แบบจุด
5. ข้อบกพร่องเป็นแนวเส้น แบ่งได้ 3 ลักษณะ
   1. ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณขอบ(edge dislocation) มีลักษณะ ที่เกิดจากมีระนาบของอะตอมเกินมาในผลึก ทำให้เกิดความเค้นขึ้น 2 ชนิด คือ ความเค้นอัด และความเค้นดึง
   2. ข้อบกพร่องแบบเกลียว(screw dislocation) มีลักษณะระนาบของอะตอมในแนวใดแนวหนึ่งเลื่อนขึ้นหรือลดต่ำลงจากระดับปกติ ทำให้มีลักษณะคล้ายเกลียวหมุนรอบแกน ทำให้เกิดความเค้นเฉือน
   3. ข้อบกพร่องผสมระหว่างบริเวณขอบ(edge dislocation) ข้อบกพร่องแบบเกลียว(screw dislocation)
6. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้าที่พบส่วนใหญ่มี 3 ลักษณะ
   1. (Grain Boundary) หมายถึง บริเวณที่ผลึกเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน
   2. (Twin plane) หมายถึงข้อบกพร่องซึ่งเกิดจากระนาบของผลึกได้รับแรงเฉือนสม่ำเสมอ ทำให้อะตอมในแนวแรงของระนาบนั้นเคลื่อนที่ไปตามแนวแรงที่กระทำ
   3. (Stacking fault) หมายถึงข้อบกพร่องที่เกิดจากการเรียงระนาบไม่เป็นไปตามลำดับที่ถูกต้อง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คำสั่ง ให้นักศึกษาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว

1. อนุภาคในข้อใดที่แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็นบวก

   ก. โปรตอน ค. นิวตรอน

   ข. นิวเคลียส ง. อิเล็กตรอน

2. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบสิ่งใด

   ก. โปรตอน ค. นิวเคลียส

   ข. นิวตรอน ง. อะตอม

3. วงโคจรของอิเล็กตรอนชั้นในสุดมีชื่อตรงกับข้อใด

   ก. K – shell ค. O – Shell

   ข. M – Shell ง. P – Shell

4. วงโคจรชั้นใดที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของธาตุมากที่สุด

   ก. K – shell ค. O – Shell

   ข. M – Shell ง. P – Shell

5. ธาตุในข้อใดที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมากที่สุด

   ก. Li, Na, Ca, Rb ค. Fe, Mn, Cr, V

   ข. B, Al, Ga, In ง. He, Mg, Ca, K

6. การจัดเรียงตัวอิเล็กตรอนของอลูมิเนียม(Al)จากชั้นในสุดไปสู่ชั้นนอกสุดข้อใด

   ก. 1, 2, 3 ค. 2, 8, 4

   ข. 2, 4, 8 ง. 2, 8, 3

7. การยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบใดที่มีประจุไฟฟ้าแตกต่างกัน

   ก. Ionic ค. Metallic

   ข. Covalence ง. Van der waal

8. การยึดเหนี่ยวของอโลหะที่ทำให้สารที่ได้มีจุดเดือดสูง และจุดหลอมเหลวต่ำ

   ก. Ionic ค. Metallic

   ข. Covalence ง. Van der waal

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

9. วัสดุที่นำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี จะมีแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมแบบใด

ก. Ionic
ข. Covalence
ค. Metallic
ง. Van der waal

10. ข้อใดต่อไปนี้ที่มีโครงสร้างอสัณฐานทั้งหมด

ก. ยาง,แก้ว,เกลือแกง
ข. พลาสติก, ยาง,กำมะถัน
ค. น้ำแข็ง,ก้อนหิน, พลาสติก
ง. พลาสติก, แก้ว, ยาง

11. อะตอมในผลึก จัดเรียงตัวกันเป็นรูปทรงต่าง ๆ 3 มิติ เรียกว่า

ก. Unit cell
ข. Polycrystal line
ค. Crystal Structure
ง. Space lattice

12. หน่วยเซลแบบใดพบได้มากที่สุดในโลหะ

ก. Triclinic
ข. Tetragonal
ค. Hexagonal
ง. Cubic

13. ลักษณะการเรียงตัวของ **P** ภายในหน่วยเซลล์ หมายถึงข้อใด

ก. หน่วยเซลล์มีจุดกึ่งกลางของหน่วยเซลล์
ข. หน่วยเซลล์อยู่กึ่งกลางของฐาน
ค. หน่วยเซลล์อยู่เฉพาะที่มุมเท่านั้น
ง. หน่วยเซลล์ที่มีจุดกึ่งกลางทุกด้านของหน่วยเซลล์

14. อักษรตัวใดแทนความหมายของหน่วยเซลล์ของหน่วยเซลล์ที่มีลักษณะจุดกึ่งกลางอยู่ทุกด้านของหน่วยเซลล์

ก. C
ข. I
ค. R
ง. F

15. เหล็ก (Fe) ณ อุณหภูมิห้องมีหน่วยเซลในผลึกเป็นแบบใด

ก. Body Center Cubic
ข. Face Center Cubic
ค. Hexagonal Close Pack
ง. Tetragonal System

16. ทองคำ (Au) ณ อุณหภูมิห้องมีหน่วยเซลในผลึกเป็นแบบใด

ก. Body Center Cubic
ข. Face Center Cubic
ค. Hexagonal Close Pack
ง. Tetragonal

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

17. ธาตุในข้อใดที่มีระบบหน่วยเซลในผลึกเป็นแบบ HCP ทั้งหมดที่ ณ อุณหภูมิห้อง

ก. Fe, Mo, Mn
ข. Ca, Co, Zn
ค. Al, Cu, Ag
ง. Cu, Zn, Cr

18. ธาตุในข้อใดที่มีระบบหน่วยเซลในผลึกเป็นแบบ FCC ณ อุณหภูมิห้อง

ค. Fe, Mo, Mn
ง. Ca, Co, Zn
ค. Al, Cu, Ag
ง. Cu, Zn, Cr

19. หน่วยเซลแบบใดในผลึกของวัสดุที่สามารถแปรรูปได้ง่ายที่สุด

ก. FCC
ข. BCC
ค. HCP
ง. Tetragonal

20. ค่า APF ของ Cu คิดได้เป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับช่องว่างระหว่างอะตอมในหน่วยเซลล์

ก. 68 : 32
ข. 74 : 26
ค. 32 : 68
ง. 26 : 74

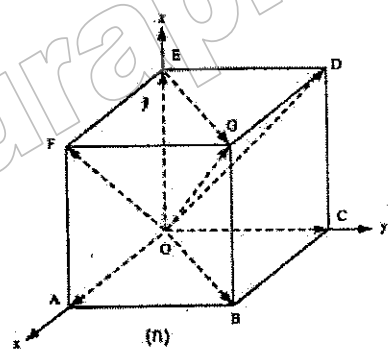
21. จำนวนอะตอมของ HCP ในหนึ่งหน่วยเซลล์มีจำนวนอะตอมกี่อะตอม

ก. 2
ข. 4
ค. 6
ง. 8

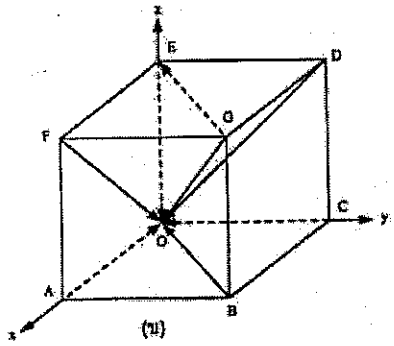
22. ประโยชน์ของการหาทิศทางในระบบผลึกคือข้อใด

ก. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ
ข. การหาระนาบของวัสดุ
ค. ใช้เลือกวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม
ง. เพื่อให้เห็นโครงสร้างของระบบผลึก

จากภาพด้านล่าง ตอบคำถามข้อ 23-26



(ก)



(ข)

23. ข้อใดบอกทิศทางของ OF ได้ถูกต้อง

ก. [101]
ข. (100)
ค. [100]
ง. (010)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

24. ข้อใดบอกทิศทางของ OD ได้ถูกต้อง

ก. [010]
ข. (101)
ค. [1$\bar{1}$1]
ง. (101)

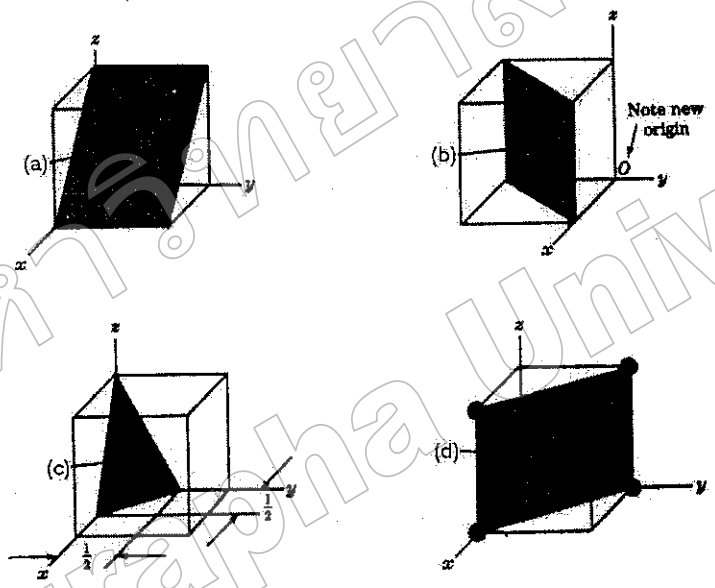
25. (101) เป็นทิศทางของข้อใด

ก. BO
ข. FO
ค. DO
ง. GB

26. ($\bar{1}\bar{1}$0) เป็นทิศทางของข้อใด

ก. AO
ข. DO
ค. GE
ง. BO

<u>จากภาพด้านล่าง จงตอบคำถามข้อ 27 – 29</u>



27. ดัชนีมิลเลอร์ของ b คือข้อใด

ก. (111)
ข. (101)
ค. (221)
ง. ($\bar{1}$10)

28. ดัชนีมิลเลอร์ของ c คือข้อใด

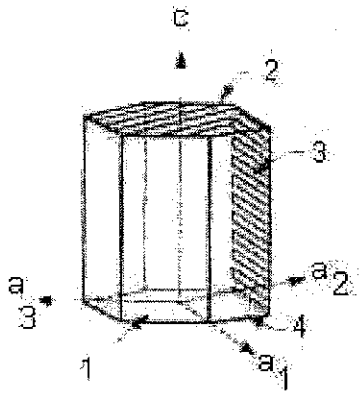
ก. (100)
ข. (110)
ค. (221)
ง. (231)

29. ดัชนีมิลเลอร์ของ d คือข้อใด

ก. (110)
ข. (221)
ค. (210)
ง. (101)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

<u>จากภาพด้านล่าง จงตอบคำถามข้อ 30 – 32</u>



30. ดัชนีมิลเลอร์ $(10\bar{1}0)$ คือหมายเลขใด

ก. 1 ค. 3

ข. 2 ง. 4

31. ดัชนีมิลเลอร์ $(1\bar{1}00)$ คือหมายเลขใด

ก. 1 ค. 3

ข. 2 ง. 4

32. ดัชนีมิลเลอร์ (0001) คือหมายเลขใด

ก. 1 ค. 3

ข. 2 ง. 4

33. ข้อใด เรียงลำดับขั้นการของเกิดผลึกได้ถูกต้อง

ก. นิวเคลียส → เดนไดรท์ → เกรน

ข. เกรน → เดนไดรท์ → นิวเคลียส

ค. เดนไดรท์ → เกรน → โพลีคริสตอล

ง. นิวเคลียส → เดนไดรท์ → เดนไดรท์กราว์ด

34. ขบวนการเกิดผลึก Crystallization มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอย่างไร

ก. Recrystallization ค. Decomposition

ข. Solidification ง. Nucleation

35. ข้อใดเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากของแข็งเป็นสภาวะแก๊ส

ก. Solidification ค. Sublimation

ข. Recrystallization ง. Nucleation

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

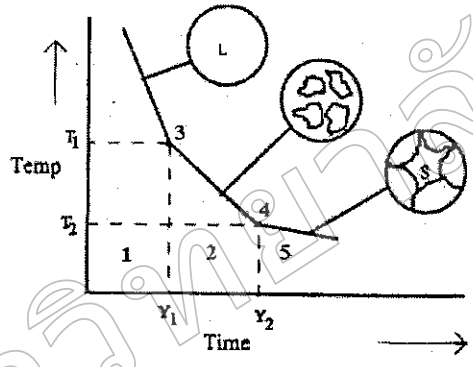
36. อนุภาคของโลหะจะหยุดการเคลื่อนที่ เมื่อใด

ก. อุณหภูมิลดต่ำลง
ข. อุณหภูมิต่ำลงอย่างรวดเร็ว
ค. อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิวิกฤต
ง. อุณหภูมิคงที่

37. ข้อใดเมื่ออนุภาคหยุดการเคลื่อนที่เกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคเกิดเป็นของแข็งจุดเล็ก ๆ เป็นแกนกลางของผลึก

ก. เกรน
ข. เดนไดรท์ก
ค. นิวเคลียส
ง. โพลีคลิสตอล

<u>จากภาพข้างล่าง จงตอบคำถามในข้อ 38 – 41</u>



38. หมายเลข 1 คือข้อใด

ก. สภาวะของเหลว
ข. สภาวะของเหลง+ของแข็ง
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว
ง. อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว

39. หมายเลข 2 คือข้อใด

ก. สภาวะของเหลว
ข. สภาวะของเหลง+ของแข็ง
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว
ง. อุณหภูมิเริ่มต้นการแข็งตัว

40. หมายเลข 3 คือข้อใด

ก. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว
ข. สภาวะของเหลง+ของแข็ง
ค. สภาวะของเหลว
ง. จุดสิ้นสุดการแข็งตัว

41. หมายเลข 5 คือข้อใด

ก. สภาวะของเหลว
ข. สภาวะของเหลว+ของแข็ง
ค. จุดเริ่มต้นการแข็งตัว
ง. จุดสิ้นสุดการแข็งตัว

42. เกรนที่มีลักษณะยาวซึ่งเป็นไปตามทิศทางการเย็นตัวของน้ำโลหะคือเกรนชนิดใด

ก. Fine Grain
ข. Columnar Grain
ค. Equi-axed Grain
ง. Grain Boundary

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

43. ข้อใดผิด

ก. เกรนละเอียดจะมีความแข็งแรงกว่าเกรนหยาบ

ข. เกรนละเอียดจะสามารถนำการแปรรูปได้ง่ายกว่า

ค. เกรนหยาบมีขอบเกรนน้อยกว่า

ง. เกรนหยาบแข็งแรงและแปรรูปได้ง่ายกว่า

44. ข้อบกพร่องแบบใดมักเกิดขึ้นในธาตุบริสุทธิ์

ก. ข้อบกพร่องที่เส้น

ข. ข้อบกพร่องจุด

ค. ข้อบกพร่องที่ผิวหน้า

ง. ข้อบกพร่องที่ขอบ

45. จุดว่างที่มีอะตอมของธาตุอื่นมาแทนที่ของธาตุหลัก เรียกว่าอะไร

ก. จุดบกพร่องแทนที่

ข. อะตอมแทนที่

ค. อะตอมสารมลทินแทรกตัว

ง. อะตอมสารมลทินแทนที่

46. วัสดุที่ได้รับแรงดึงและแรงอัดจะเกิดระนาบเลื่อนรูปแบบใด

ก. Edge dislocation

ข. Screw dislocation

ค. Lattice translation

ง. Mixed dislocation

47. วัสดุที่ได้รับแรงเฉือน จะเกิดระนาบเลื่อนรูปแบบใด

ก. Edge dislocation

ข. Screw dislocation

ค. Twin dislocation

ง. Mixed dislocation

48. ข้อบกพร่องที่ผิวซึ่งมีการเรียงตัวแตกต่างกันแบ่งเป็นสองส่วน มีลักษณะคล้ายกับว่าส่วนหนึ่งเป็นเงาของอีกส่วนหนึ่ง เรียกว่าอะไร

ก. Stacking

ข. Twin dislocation

ค. Twin boundaries

ง. Grain boundaries

49. Twin เกิดขึ้นเมื่อมีแรงในลักษณะใดกระทำ

ก. แรงดึง

ข. แรงอัด

ค. แรงดัด

ง. แรงเฉือน

50. ข้อบกพร่องแบบใดเกิดขึ้นบริเวณที่ผลึก HCP เรียงตัวปะปนอยู่ในผลึก FCC

ก. Stacking fault

ข. Twin dislocation

ค. Twin boundaries

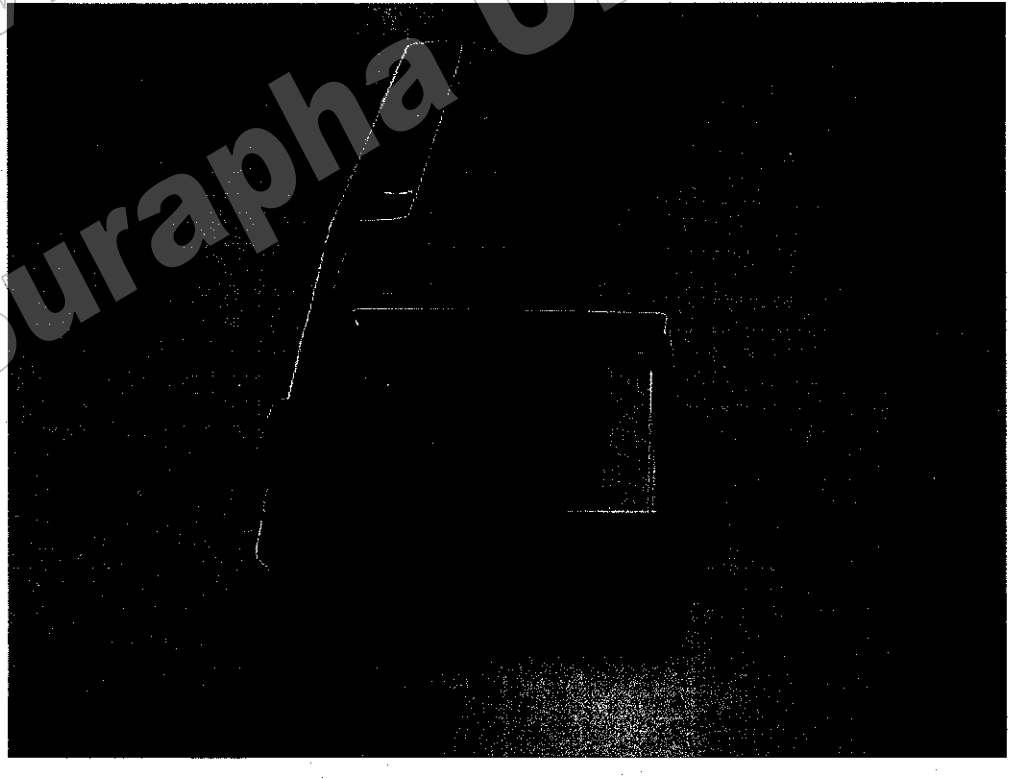
ง. Grain boundaries

.....

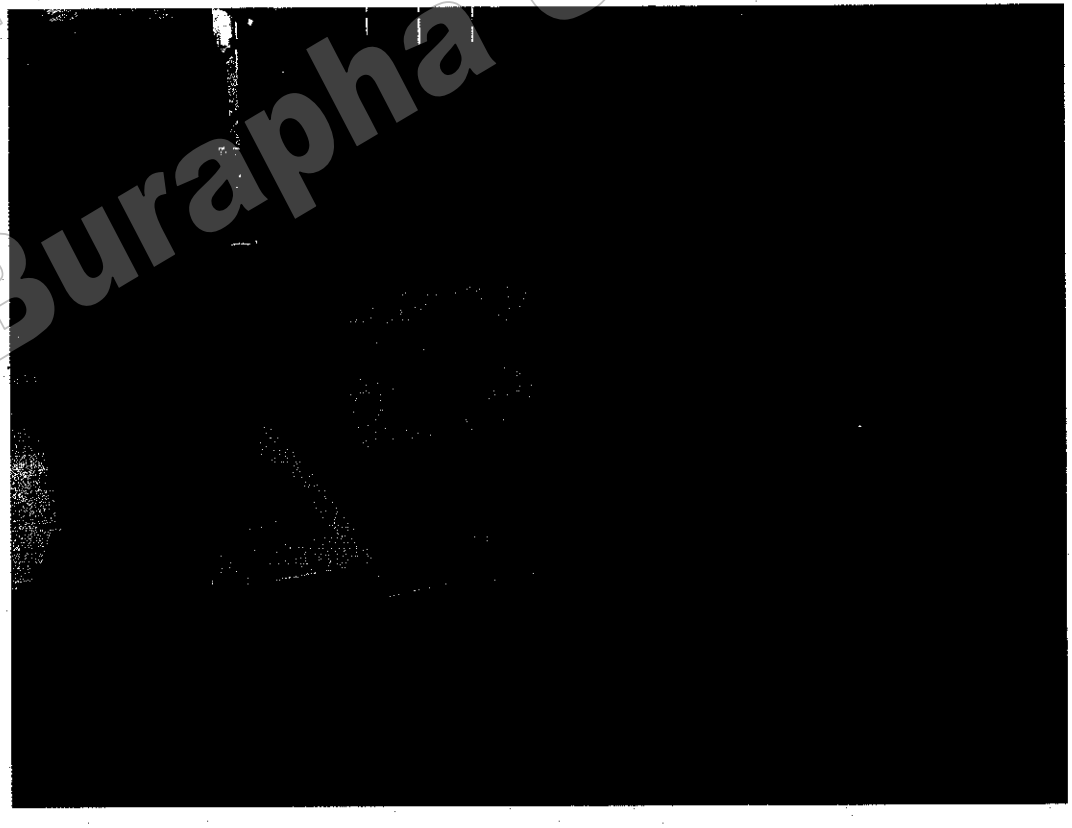
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวอย่างชุดสื่อ

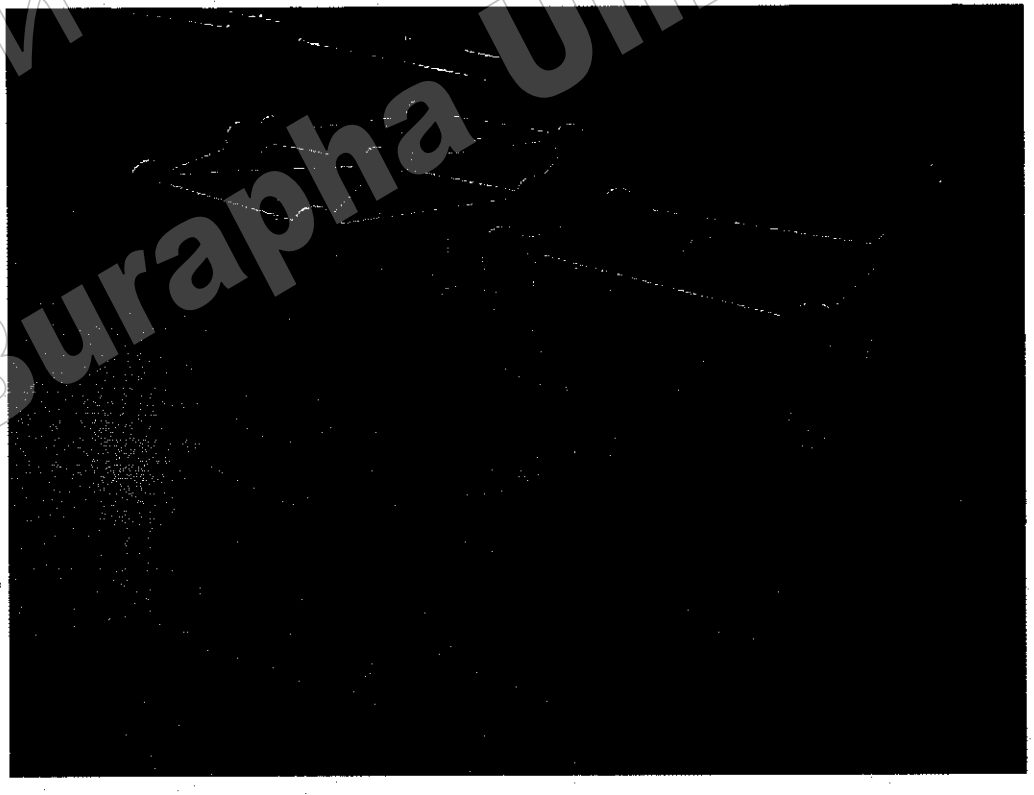
มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University