

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบด้วย พลาสมา การเกิดพลาสมา การสร้างพลาสมา สมบัติความชอบน้ำ สมบัติความไม่ชอบน้ำ และการศึกษาลักษณะพื้นผิว

พลาสมา (Plasma)

พลาสมา มีการกล่าวถึงครั้งแรกโดย เซอร์ วิลเลียม ครูกส์ (Sir William Crookes) เมื่อ ค.ศ. 1879 และคิดคำว่าพลาสมาโดย เออร์วิง แลงมัวร์ (Irving Langmuir) เมื่อ ค.ศ. 1928 พลาสมา ในทางเคมีและฟิสิกส์ คือ สถานะที่ 4 ของสสาร จากสถานะของสสารทั้งหมด 6 สถานะ คือ

สถานะ 0 : Bose-Einstein condensate

สถานะ 1 : ของแข็ง (Solid)

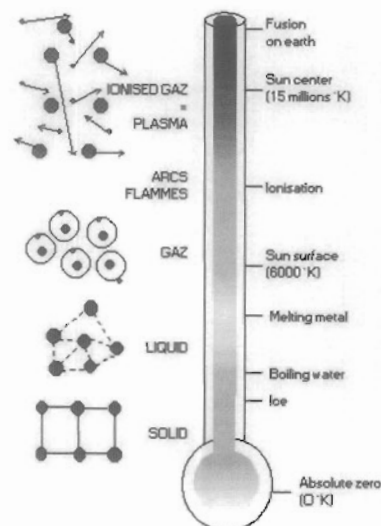
สถานะ 2 : ของเหลว (Liquid)

สถานะ 3 : ก๊าซ (Gas)

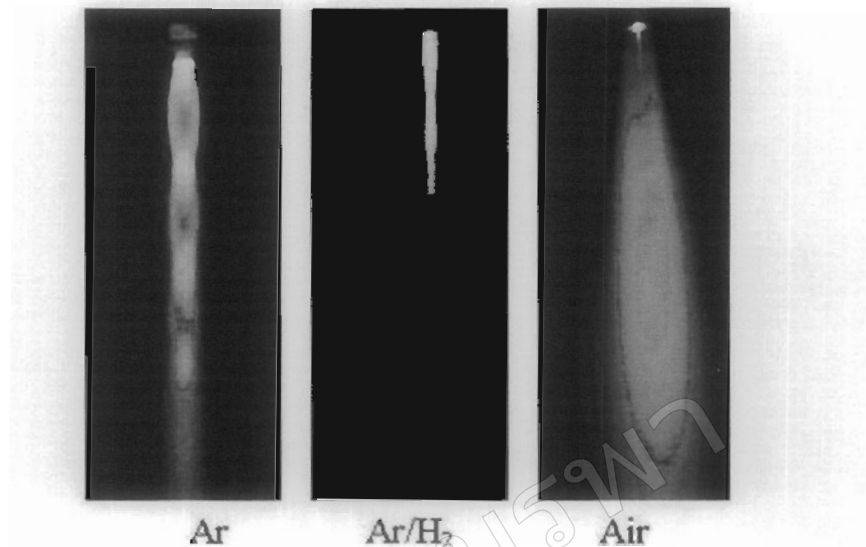
สถานะ 4 : พลาสมา (Plasma)

สถานะ 5 : ฟิลาเมนต์ (Filament)

Solid	Liquid	Gas	Plasma
Example Ice H_2O	Example Water H_2O	Example Steam H_2O	Example Ionized Gas $H_2 \rightarrow H^+ + H^- + 2e^-$
Cold $T < 0^\circ C$	Warm $0 < T < 100^\circ C$	Hot $T > 100^\circ C$	Hotter $T > 100,000^\circ C$ > 10 electron Volts
			
Molecules Fixed in Lattice	Molecules Free to Move	Molecules Free to Move, Large Spacing	Ions and Electrons Move Independently, Large Spacing



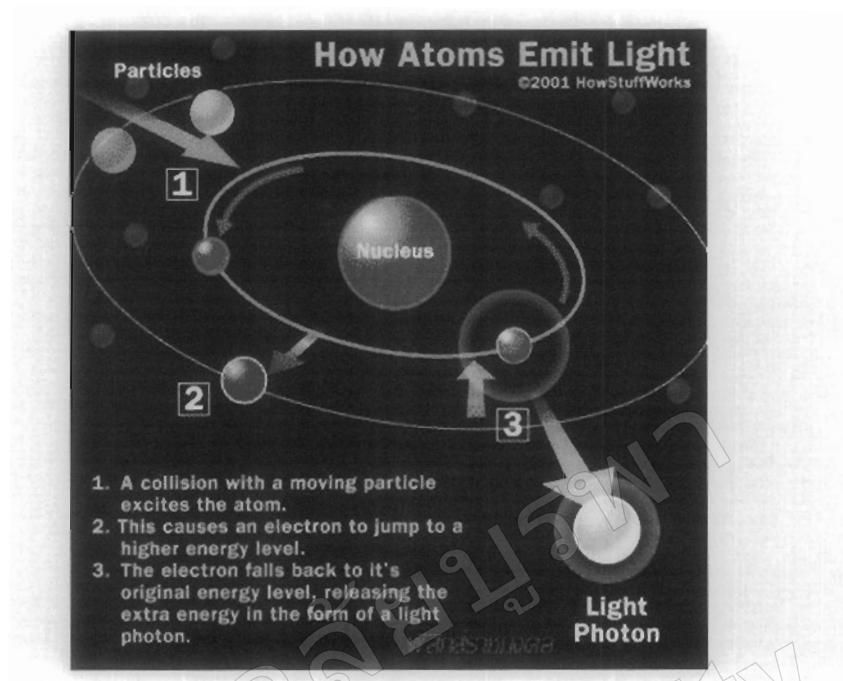
ภาพที่ 2-1 การจับตัวของโมเลกุลในสถานะต่างๆของสสาร (ปริญ คงกระพันธ์, 2551)



ภาพที่ 2-2 พลาสมาที่เกิดจากก๊าซชนิดต่างๆ (ปริญ กองกระพันธ์, 2551)

การเกิดพลาสมา

พลาสมา เกิดจากการแตกตัวของประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ในสสารเนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนหรือได้รับการกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานมากกว่าพลังงานที่ทำให้อะตอมของสสารคงรูปอยู่ได้ ทำให้ประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ในสสารนั้นเกิดการแตกตัวและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของพลังงานแสงและพลังงานความร้อน ซึ่งก๊าซในสถานะพลาสมามีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า และมีความร้อนสูงมาก ถ้าอุณหภูมิของก๊าซสูงประมาณ $3,500^{\circ}\text{C}$ โมเลกุลจะแตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยวที่อุณหภูมิก๊าซ $40,000^{\circ}\text{C}$ อะตอมจะสูญเสียอิเล็กตรอนเหลือแต่นิวเคลียสที่ไร้อิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนอิสระที่ไร้นิวเคลียส และหากอุณหภูมิของก๊าซสูงถึง $1,000,000^{\circ}\text{C}$ นิวเคลียสจะแตกออกเป็นอนุภาคเดี่ยวที่มีประจุและมีพลังงานความร้อนสูงจึงเรียกว่า High Energy Particle เช่น สสารสถานะพลาสมาในดาวฤกษ์



ภาพที่ 2-3 การแตกตัวของอิเล็กตรอนจากอะตอมทำให้เกิดพลาสมา

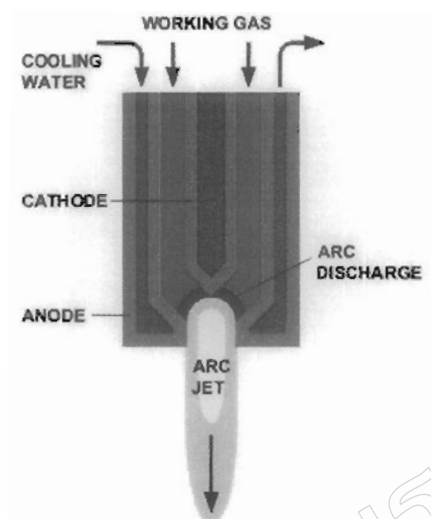
(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 2556)

การสร้างพลาสมา

การทำให้สสารเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมานั้นมีหลายวิธี วิธีสร้างพลาสมาที่เป็นที่นิยมมีดังนี้

1. การกระตุ้นการแตกตัวของโมเลกุลสสารด้วยการอาร์ค

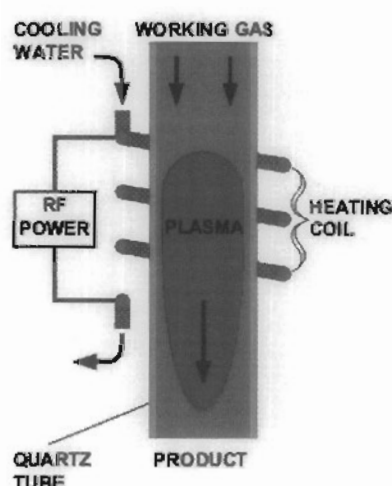
การสร้างพลาสมาด้วยวิธีนี้เป็นการกระตุ้นการแตกตัวของ Carrier Gas ด้วยการทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากขั้วแคโทดเนื่องจากการอาร์คชนกับอนุภาคของ Carrier Gas โดยตรง ทำให้เกิดการแตกตัวของอนุภาคดังกล่าวเป็นไอออนบวก และอิเล็กตรอนอิสระของก๊าซชนิดนั้น ๆ หากการชนมีพลังงานมากพอจะทำให้ก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา เรียกว่า พลาสมาอาร์ค



ภาพที่ 2-4 การสร้างพลาสมาจากการอาร์ค (ปริญ คงกระพันธ์, 2551)

2. การให้พลังงานความร้อนปริมาณสูงกับสสารสถานะก๊าซ

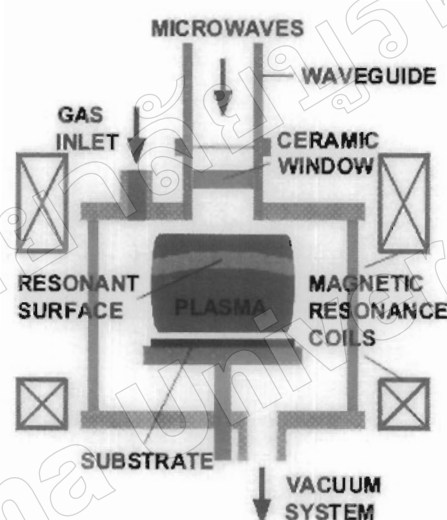
การให้พลังงานความร้อนแก่สสารสถานะก๊าซในปริมาณที่สูงจะทำให้อุณหภูมิของก๊าซจะสูงขึ้น ซึ่งถ้าพลังงานความร้อนมีมากพอประจุไฟฟ้าจะแยกออกจากอะตอมของสสารได้ ประจุลบ (Electron) และประจุบวก (Proton) กระเจายั่วออกที่มีความเข้มข้นเกือบเท่ากัน ทำให้สสารสถานะก๊าซเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา พลาสมาที่มาจากวิธีการให้พลังงานความร้อนนี้จะทำได้ยากเนื่องจากแหล่งความร้อนที่ให้อุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้ามีน้อย



ภาพที่ 2-5 การสร้างพลาสมาจากการให้พลังงานความร้อนปริมาณสูง (ปริญ คงกระพันธ์, 2551)

3. การกระตุ้นการแตกตัวของโมเลกุลของสารด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงเมื่อกระทบหรือชนกับ โมเลกุลของสารจะทำให้โมเลกุลของสารเกิดการสั่น หากการสั่นนั้นมีความรุนแรงมากพอจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลออกเป็นประจุไฟฟ้าทำให้สารนั้นเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นิยมนำมาสร้างพลาสมา คือ คลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงสามารถสร้างและควบคุมได้ง่าย การสร้างพลาสมาด้วยคลื่นไมโครเวฟนิยมนำมาใช้กับสารสถานะก๊าซ เนื่องจากโมเลกุลของสารสถานะก๊าซแตกตัวได้ง่ายหากเทียบกับสารสถานะอื่น ๆ

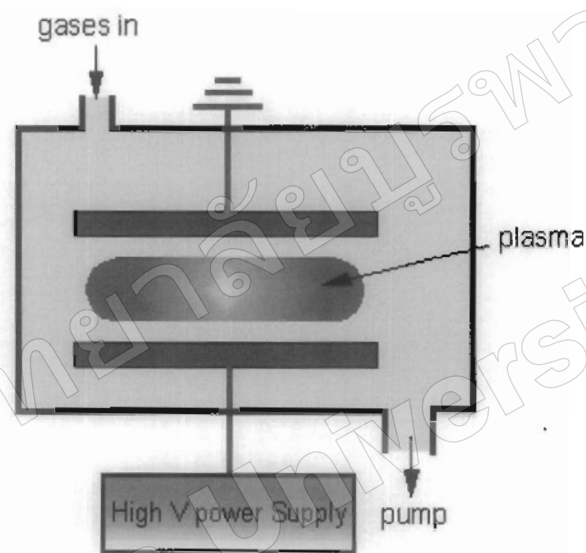


ภาพที่ 2-6 การสร้างพลาสมาจากคลื่นไมโครเวฟ (ปริณู กองกระพันธ์, 2551)

4. การกระตุ้นการแตกตัวของโมเลกุลของสารด้วยสนามไฟฟ้าแรงสูง

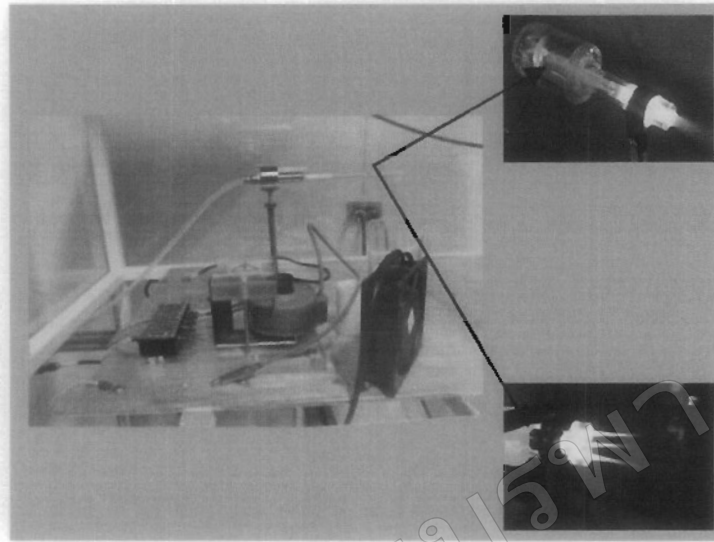
การให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนด (+) และ ขั้วแคโทด (-) สูงมาก ๆ จะเกิดสนามไฟฟ้าแรงสูงทำให้ประจุลบ (Electron) จากขั้วแคโทดแตกตัว และกระโดดสู่ขั้วแอโนดได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางทางไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ เช่น การเกิดฟ้าผ่า เป็นต้น การที่ประจุลบแตกตัวออกจากโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทดทำให้เกิดพลาสมาที่เรียกว่า พลาสมาโลหะ (Iron Plasma) ซึ่งเป็นพลาสมาอุณหภูมิต่ำเนื่องจากโลหะเป็นของแข็งที่มีการจับตัวกันของอะตอมเป็นพันธะ โลหะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมสูงจึงทำให้ประจุลบแตกตัวออกจากอะตอมได้ยาก และมีปริมาณการแตกตัวน้อย แต่ถ้ามีการปล่อยก๊าซผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าว โมเลกุลของก๊าซจะถูกชนด้วยประจุลบที่แตกตัวออกจากโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทดจน โมเลกุล

ของก๊าซแตกตัวออกเป็นพลาสมาของก๊าซชนิดนั้น ทำให้ได้รับความร้อนจากการแตกตัวสูงขึ้นมาก เนื่องจากโมเลกุลของก๊าซแตกตัวได้ง่าย และหากมีความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูงมากพอ โมเลกุลของก๊าซก็จะแตกตัวเกือบทั้งหมด ในกรณีของก๊าซที่นำมาปล่อยผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าวเป็นก๊าซเชื้อเพลิงด้วยแล้ว หากโมเลกุลของก๊าซเชื้อเพลิงแตกตัวเป็นประจุไม่หมด โมเลกุลของก๊าซที่ไม่แตกตัวเป็นพลาสมา ก็จะเกิดการสันดาปขึ้นด้วยความร้อนที่ได้จากการแตกตัวของโมเลกุลอื่น ทำให้ได้อุณหภูมิความร้อนที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2-7 การสร้างพลาสมาจากสนามไฟฟ้าแรงสูง (ปริญ คงกระพันธ์, 2551)

ก๊าซที่สามารถนำมาจุดพลาสมาในความดันบรรยากาศนั้นมีได้หลายชนิด โดยมักใช้ ก๊าซอาร์กอนหรือฮีเลียมเป็นก๊าซหลัก เพื่อทำหน้าที่เป็นก๊าซนำพาเพื่อช่วยในการจุดพลาสมา และทำให้พลาสมานั้นมีความสม่ำเสมอ โดยก๊าซแต่ละชนิดจะถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมการจ่าย และผสมก๊าซก่อนที่จะถูกส่งเข้าสู่ห้องกำเนิดพลาสมา (สมศักดิ์ แดงทิพย์, 2552)



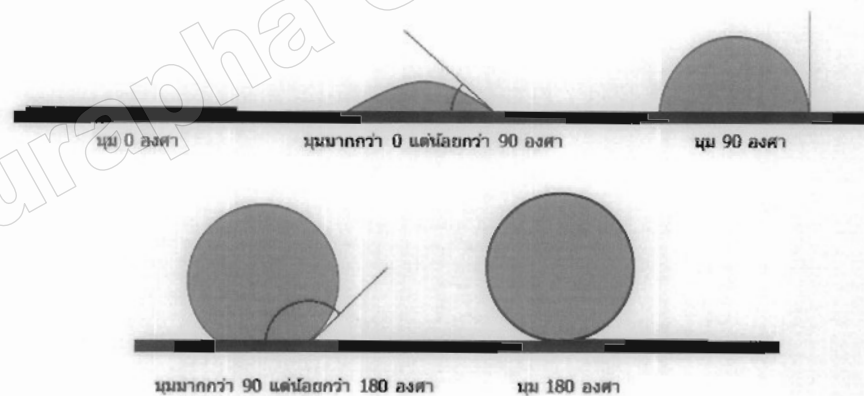
ภาพที่ 2-8 ระบบผลิตพลาสมาความดันบรรยากาศ : Plasma Jet
(ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์, 2556)

สมบัติความชอบน้ำ และไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic and Hydrophobic Property)

สมบัติความชอบน้ำ คือ น้ำเปียกบนพื้นผิวได้อย่างสมบูรณ์เมื่อน้ำตกมาที่พื้นผิวก็จะเกิดเป็นชั้นน้ำบาง ๆ อยู่บนพื้นผิว สภาพชอบน้ำเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญของกระจกทำความสะอาดด้วยตนเอง โดย พรนภา สุจริตรกุล (2548) ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) จะทำให้น้ำที่เกาะบนพื้นผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่สามารถคงตัวอยู่เป็นหยดน้ำได้แต่จะกระจายเป็นฟิล์มบาง ๆ ปกคลุมผิวอย่างสม่ำเสมอคล้ายแผ่นกระจกบางใสจึงช่วยให้กระจกนั้นแห้งได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ทิ้งรอยหรือคราบสกปรกให้เห็นหลังจากแห้งเหมือนกับกระจกปกติ ส่งผลให้กระจกไม่เป็นฝ้าขาวเนื่องจากมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับกระจกที่เคลือบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีค่าต่ำมากจนกระทั่งเป็นศูนย์ ที่เรียกว่าสภาพชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Super-Hydrophilic) เมื่ออยู่ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตเป็นเวลานาน ซึ่งโดยปกติพื้นผิวของกระจกเมื่อมีความชื้นในอากาศมาสัมผัสก็จะเกิดเป็นหยดน้ำเล็กจำนวนมากมาเกาะได้ง่ายทำให้เกิดเป็นฝ้าขุ่นมัว และโดยทั่วไปแล้วมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวของกระจกมีค่าอยู่ที่ประมาณ 20-30 องศา ในการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนผิวของของแข็ง สภาพสมดุลของแรงสองแรงจะนำไปสู่ปริมาณที่สำคัญอีกปริมาณหนึ่งที่นิยมใช้วัดความเปียกที่เรียกว่า มุมสัมผัส (Contact Angle) คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิว

ทั้งสองเกาะติดกัน และนักวิทยาศาสตร์ใช้มุมนี้เป็นเกณฑ์แบ่งการเปียกของเหลวบนของแข็งว่าเปียกได้ดีหรือไม่ดี เกณฑ์มีดังนี้

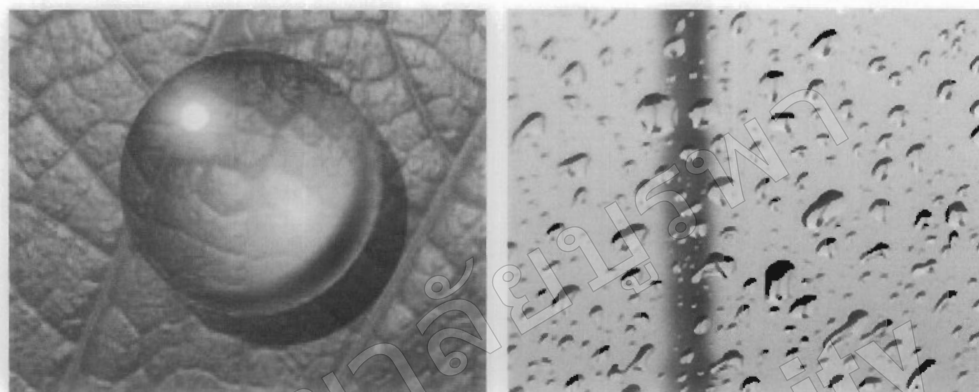
1. มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา คือการเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติด (Cohesive Forces) มีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น (Adhesive force) มาก ๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิวของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ ครอบคลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด
2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดี ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง
3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 องศา แต่ไม่ถึง 180 องศา เรียกว่าผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลมจะมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง
4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา เรียกว่า ผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลมซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุดเมื่อเป็นแบบนี้ ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ



ภาพที่ 2-9 การเปียกและมุมสัมผัสค่าต่าง ๆ (บทความวิชาการคอตคอม, 2555)

สมบัติความไม่ชอบน้ำ คือ พื้นผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลมบริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลมซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด ถ้าพิจารณาน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่งขณะที่น้ำเกาะอยู่

บนผิวของของแข็งจะเกิดสภาพสมดุลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น ถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมากน้ำจะกระจายแนบติดบนผิวของของแข็งในที่สุด ในทางตรงข้ามถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ น้ำจะไม่เกาะแต่จะหลุดออกจากผิวแล้วรวมกันเป็นหยดกลิ้งไปมาได้บนผิวของของแข็งเหมือนกับหยดน้ำบนใบบัว



(a) ของเหลวในสภาพหยด

(b) ของเหลวในสภาพแผ่กระจาย

ภาพที่ 2-10 รูปร่างของของหยดน้ำบนพื้นผิวต่างกัน (บทความวิชาการคอตคอม, 2555)

การศึกษาลักษณะพื้นผิว

ลักษณะพื้นผิว และความหนาของวัสดุ เทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาความหนา และลักษณะพื้นผิวของวัสดุในระดับนาโน คือ Atomic Force Microscopy (AFM)

ซึ่ง จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ (2542) ได้อธิบายหลักการทำงานของเครื่อง AFM ไว้ดังนี้ เทคนิค

Atomic Force Microscopy เป็นการสร้างภาพของผิววัสดุจากแรงกระทำระหว่างผิววัสดุกับ

ตัวตรวจวัดที่ทำจากเข็มขนาดเล็ก (Probe Tip) และเป็นเทคนิคหนึ่งในกลุ่มของ Scanning Probe Microscopy (SPM) ซึ่งเป็นกลุ่มเทคนิคที่สามารถใช้ในการศึกษาสภาพพื้นผิวของวัสดุประเภท

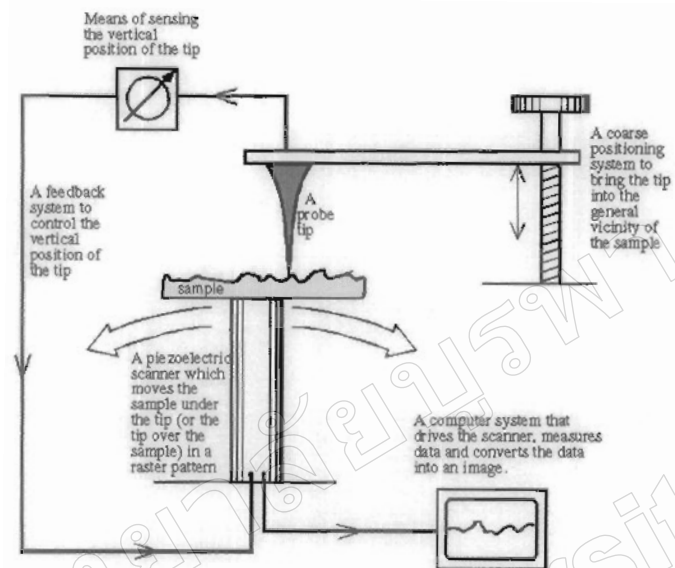
ต่าง ๆ ได้ หลักการพื้นฐานคือ การใช้เข็มตรวจวัดขนาดเล็กที่ทำจากซิลิคอนไนไตรด์ (Silicon Nitride, Si_3N_4) เคลื่อนที่กราด (Scan) ไปทั่วบริเวณต่าง ๆ ของผิววัสดุ โดยมีตัวเพียโซอิเล็กทริก

สแกนเนอร์ (Piezoelectric Scanner) เป็นตัวควบคุม สภาพผิวที่แตกต่างกันไปจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเข็มตรวจวัดแตกต่างกันไป โดยตัวคานามีเข็มเกาะติดอยู่จะมีการโค้งงอ (Bending)

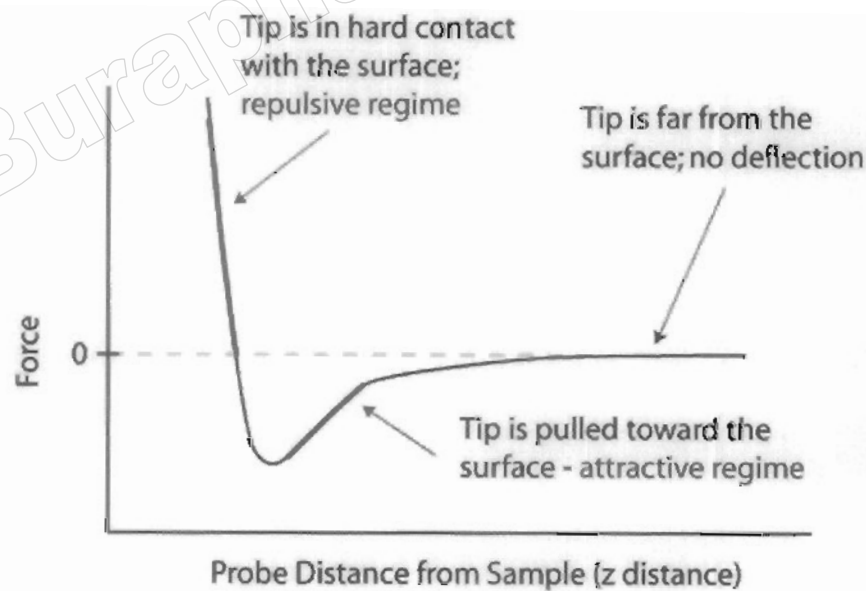
ปริมาณการโค้งงอนี้สามารถตรวจวัดได้โดยใช้โฟโตดีเทคเตอร์ (Photo Detector) ดังภาพที่ 2-11

ภาพที่ได้จากเทคนิคนี้จะสอดคล้องตามสภาพพื้นผิวในแต่ละบริเวณที่ตรวจสอบ ในเทคนิค AFM นี้

สิ่งที่ทำให้คานที่มีเข็มเกาะอยู่เกิดการโค้งงอขึ้นก็คือ แรงกระทำระหว่างอะตอม ซึ่งอาจจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลักก็ได้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเข็มปลายแหลมกับพื้นผิว ดังแสดงในภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-11 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope
(POLITECNICO DI TORINO, 2007)

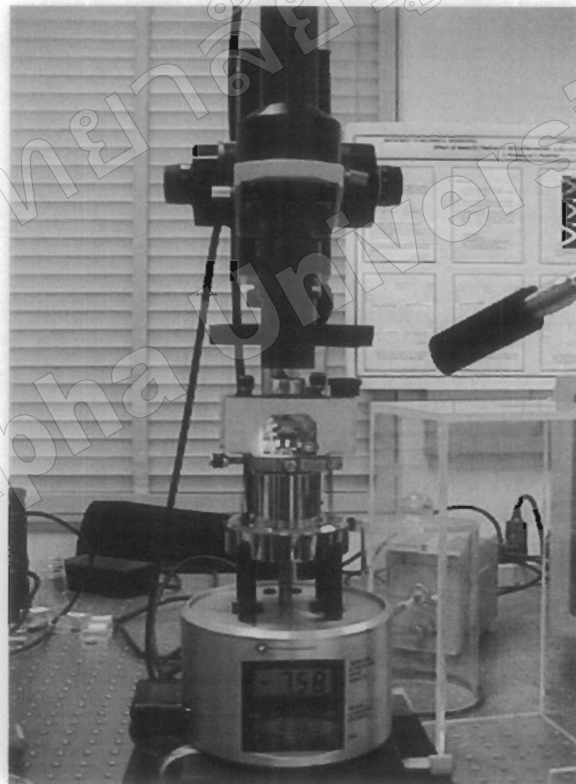


ภาพที่ 2-12 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ

(Nano Science Instruments, 2013)

เทคนิค AFM สามารถแบ่งได้หลายวิธีตามลักษณะการเก็บข้อมูล ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นการใช้ AFM วิธีใด แรงกระทำที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพื้นผิว (Topography) ของวัสดุ

ภาพที่ 2-13 แสดงให้เห็นถึงเครื่อง Atomic Force Microscope รุ่น NanoScope IIIa บริเวณตรงกลางเป็นบริเวณที่ใช้วางชิ้นงาน โดยมีเข็มวัดวางอยู่ด้วย ส่วนที่บริเวณด้านบนของเครื่องมือจะมีกล้องจุลทรรศน์วิดีโอ (Video Microscope) ติดตั้งไว้ เพื่อใช้สำหรับดูตำแหน่งของเข็มที่จะทำการวางลงบนบริเวณต่าง ๆ บนผิว ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์วิดีโอนี้จะแสดงทางจอโทรทัศน์ นอกจากนี้ในบริเวณด้านบน จะมีแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์และโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้วัดการโค้งงอของคานยื่น



ภาพที่ 2-13 เครื่อง AFM แบบ Multimode (The Ohio State University, 2006)

ลักษณะการเก็บข้อมูลด้วยเทคนิค AFM สามารถใช้เก็บข้อมูลได้ 4 ลักษณะ (Mode) ที่สำคัญดังนี้คือ

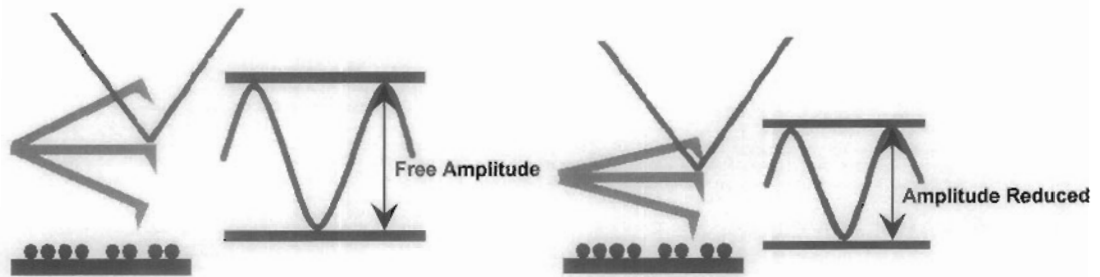
1. Contact Mode เป็นการศึกษาสภาพผิวชิ้นงาน โดยการขยับให้เข็มไถล (Slide) ไปบนผิวงานซึ่งจะทำให้มีแรงผลักเกิดขึ้น เนื่องจากเข็มกับผิวงานจะอยู่ใกล้กันมาก แรงผลักนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพผิว ซึ่งจะทำให้มีการโก่งงอ (Deflection) ของคานขึ้น (Cantilever) ที่มีเข็มยึดเกาะอยู่ที่ปลาย โดยปริมาณการโก่งงอจะเปลี่ยนแปลงสอดคล้องเป็นไปตามลักษณะของผิวงาน

อย่างไรก็ตาม เทคนิคแบบ Contact Mode นี้มีข้อเสียคือ การลากให้เข็มตรวจวัดเคลื่อนที่ไถลข้ามไปยังบริเวณต่าง ๆ บนผิวงาน อาจจะทำให้พื้นผิววัสดุที่กำลังศึกษาต่างไปจากสภาพเดิมที่แท้จริง หรืออาจเกิดความเสียหายขึ้นแก่ผิวงานได้ ยกตัวอย่างเช่น ภายใต้อากาศบรรจุอากาศสกปรก ซึ่งมีอากาศและความชื้นในอากาศ อาจจะทำให้เกิดหยดน้ำหรือสิ่งสกปรกบนผิวงาน ซึ่งเมื่อเข็มวัดเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวที่มีชั้นบาง ๆ ของหยดน้ำและสิ่งสกปรกดังกล่าว จะทำให้มีแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตและแรงดึงดูดผิวทำให้ตัวคานที่มีเข็มยึดเกาะอยู่ที่ปลายเคลื่อนที่ลงมาสัมผัสกับชั้นดังกล่าว ทำให้แรงระหว่างเข็มกับผิวงานที่เกิดขึ้นโดยรวมเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังอาจทำให้ผิวงานถูกทำลาย เช่น เกิดการขีดข่วนจากการลากเข็มไปบนผิวงาน

2. Non-Contact Mode เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคแบบ Non-Contact Mode ขึ้นมา โดยในที่นี้ ตัวเข็มปลายแหลมจะถูกยกขึ้นมาให้มีระยะห่างเหนือผิวงานสูงมากขึ้น คือประมาณ $10-100 \text{ \AA}$ จึงไม่มีปัญหาเรื่องการทำลายโครงสร้างผิวงาน โดยในกรณีนี้ แรงกระทำระหว่างตัวคานที่มีเข็มปลายแหลมยึดเกาะอยู่กับผิวงานจะเป็นลักษณะแรงดึงดูด ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปทรงของสภาพผิวงานเช่นเดียวกัน

วิธีนี้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความละเอียดของภาพที่เกิดขึ้น นั่นคือ แรงดึงดูดประเภทแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals) ที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะเป็นแรงที่อ่อนกว่าเมื่อเทียบกับแรงผลักที่เกิดขึ้นในกรณีของ Contact Mode ดังนั้นการตรวจสอบอาจจะไว (Sensitive) ต่อสิ่งแปลกปลอมที่อยู่บนผิวงาน เช่น หยดน้ำที่เกาะอยู่บนผิว

3. Tapping Mode เป็นเทคนิคที่รวมเอาลักษณะของการวัดทั้งในแบบของ Contact Mode และ Non-Contact Mode เข้าด้วยกัน กล่าวคือ ยังคงให้มีการสัมผัสกันระหว่างเข็มกับผิวงาน ในระยะที่ใกล้กันมาก เหมือนกับกรณีของ Contact Mode เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจน ในขณะเดียวกันก็ยังมี การสั่นหรือขยับเข็มปลายแหลมให้เคลื่อนที่ขึ้นลงไปพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่สแกนไปยังบริเวณต่าง ๆ บนผิวงาน ดังนั้นจึงเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาการลากไถลเข็มปลายแหลม ซึ่งจะทำให้เกิดการทำลายสภาพของผิวงานได้ เหมือนใน Contact Mode



ภาพที่ 2-14 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด (Akari, 2001)

ภาพที่ 2-14 แสดงการสั่นของคานในสถานะอิสระหรือตอนเริ่มต้นที่ยังไม่เกิดการสัมผัสและขยับเคลื่อนที่ไปบนผิวงาน จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดจะยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับแอมพลิจูดที่เกิดจากการสั่นของคานเมื่อมีการแตะสัมผัส (Tapping) ลงบนผิวงาน เนื่องจากในการสัมผัสกันนั้นจะมีการสูญเสียพลังงานของการสั่น ทำให้แอมพลิจูดของการสั่น (Oscillation Amplitude) ลดลง ซึ่งค่าที่ลดลงนี้จะใช้เป็นตัววัดและบอกถึงลักษณะของสภาพพื้นผิวที่มีความสูงต่ำแตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น เมื่อเข็มตรวจวัดเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวงานที่มีความนูนสูงขึ้นมา ตัวคานก็จะมีพื้นที่หรือแอมพลิจูดในการสั่นลดลง ในทางตรงข้าม เมื่อเข็มปลายแหลมเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวที่มีการขยุบตัวหรือมีความลึกลงไป ตัวคานก็จะมีพื้นที่ในการสั่นเพิ่มขึ้น และมีแอมพลิจูดสูงขึ้น (เข้าใจแอมพลิจูดสูงสุดในสภาพที่ยังไม่มีการทำการสแกน) แอมพลิจูดของการสั่นที่เปลี่ยนแปลงไปก็จะถูกวัด โดยแอมพลิจูดดีเทคเตอร์ (Amplitude Detector) แล้วส่งผลเข้าไปยังตัวควบคุม ซึ่งจะทำการวัดสัญญาณพร้อมทั้งปรับระยะระหว่างเข็มกับผิวงาน เพื่อรักษาให้ค่าแอมพลิจูดของการสั่นให้คงที่ต่อไป จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของการสั่นตามสภาพพื้นผิวในบริเวณถัดไป

4. Force Modulation Mode สำหรับพื้นผิวของวัสดุที่มีองค์ประกอบหลายเฟส พบว่าเทคนิค AFM ในวิธีแบบ Force Modulation Mode จะเป็นที่นิยมใช้มาก โดยเทคนิคนี้จะเป็นการวัดและสร้างภาพของพื้นผิวชิ้นงานที่มีความแตกต่างของความแข็งแรง (Stiffness) ในแต่ละเฟสสูง โดยในกรณีนี้ตัวเข็มจะสแกนไปในลักษณะที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกับผิววัสดุด้วยแอมพลิจูดเล็กน้อย แต่จะมีความเร็วในการสั่นที่สูงกว่าการเคลื่อนที่ที่สแกนของเข็ม และเมื่อตัวเข็มถูกนำเข้ามาแตะสัมผัสกับผิววัสดุก็จะเกิดแรงต่อต้านจากผิวของวัสดุที่เกิดจากการสั่นและทำให้ตัวคานงอ และถ้าหากว่าเราให้แรงที่ทำให้ตัวคานสั่นลงที่ พื้นผิวบริเวณที่แข็งกว่าจะทำให้เกิดการต่อต้าน

ต่อการสั่นในแนวตั้งของตัวคานมากกว่า และจึงทำให้ตัวคานงอมากกว่า ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดที่เกิดจากการ โกงงอของตัวคานจึงนำมาใช้วัดเปรียบเทียบความแข็งที่บริเวณต่าง ๆ ของผิวงาน

หลักการของวิธี Tapping Mode กับ Force Modulation Mode คล้ายกันที่มีการสั่นของเข็มในแนวตั้งพร้อมกับมีการสแกนไปบนผิวชิ้นงาน อย่างไรก็ตามทั้ง 2 เทคนิค จะมีความต่างกันคือ ในกรณี Force Modulation Mode จะสั่นด้วยความเร็วสูงกว่า (สูงกว่าความเร็วในการสแกน) และการวัดแอมพลิจูดที่เกิดจากการบิดงอของคาน เป็นการวัดเนื่องจากผลของแรงด้านการสั่น เมื่อมีการสัมผัสของเข็มกับผิวงานในขณะที่ Tapping Mode จะเป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของการสั่นของคานที่เปลี่ยนแปลงไป (ลดลง) เนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานไป เมื่อมีการสัมผัสผิวงานที่มีระดับความสูงต่ำแตกต่างกัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนนี้เป็นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพลาสติกแม่เหล็กระบบความดันบรรยากาศเพื่อใช้ในการปรับสภาพพื้นผิววัสดุ โดยจะเน้นในส่วนของการเลือกใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพของวัสดุภายหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติกแล้ว และผลของระยะเวลาต่าง ๆ ภายหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยพลาสติกที่มีต่อคุณสมบัติของหยดน้ำกับวัสดุรองรับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

Kim et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการปรับสภาพขอบน้ำของพื้นผิวสแตนเลส (stainless steel) ด้วยพลาสติกแม่เหล็กระบบความดันบรรยากาศจากแก๊สไนโตรเจน และออกซิเจนบริสุทธิ์ 99.99% ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับวัสดุ 5 mm และอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของหัวฉีดเจ็ท 10 mm/s พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวสแตนเลสหลังปรับสภาพมีค่าน้อยลงอย่างมากเมื่อเทียบกับก่อนปรับสภาพ แสดงว่าพลังงานพื้นผิว (Surface energy) ของสแตนเลสเพิ่มขึ้นหลังการปรับสภาพ และจากผลของ XPS และ AFM ทำให้ทราบถึงหมู่ของฟังก์ชันหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพขอบน้ำของพื้นผิวสแตนเลส ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการกัดกร่อน และออกซิเดชัน ของอนุภาคที่มีประจุ และชนิดของอนุภาคในพลาสติก และจากการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวของสแตนเลสหลังการปรับสภาพภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด และความชื้นสัมพัทธ์ 64% พบว่าเมื่อเวลาหลังการปรับสภาพเพิ่มมากขึ้นมุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวสแตนเลสมีค่าเพิ่มมากขึ้นในเวลา 15 hr ซึ่งแสดงให้เห็นระยะเวลาในการรักษาสภาพขอบน้ำของสแตนเลสซึ่งจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานด้านอุตสาหกรรมต่อไป

Kim, Yang, Boo, and Han (2003) ได้ทำการปรับสภาพผิว และลักษณะเฉพาะของพื้นผิว โลหะชนิด Al, SUS และ Cu ด้วยพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศจากแก๊สไนโตรเจน และออกซิเจน ทดลองภายใต้ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิห้อง เมื่อกำหนดระยะห่างระหว่าง หัวฉีดเจ็ทกับวัสดุ และความเร็วของหัวฉีดเจ็ทที่ค่าต่าง ๆ กัน วิเคราะห์ผลโดยการวัดมุมสัมผัส ของหยดน้ำกับ โลหะ XPS, FE-SEM, OES และ AFM พบว่า อัตราเร็วของหัวฉีด 5 mm/s และระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ทกับวัสดุรองรับ 10-20 mm ทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิว ของโลหะมีค่าต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 2° - 8° จากผลของการวิเคราะห์ XPS, FE-SEM, OES และ AFM จะแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของโลหะที่ทำให้พลังงานพื้นผิวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อวัดความคงทนของคุณสมบัติพื้นผิวโดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวโลหะที่ปรับสภาพ พื้นผิวด้วยพลาสมาเจ็ทภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเมื่อเวลาหลังการปรับสภาพผ่านไปเป็นเวลาต่าง ๆ ที่สภาพแวดล้อมห้องทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ 64% พบว่า มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับผิวโลหะ จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 15 hr

Cheng et al. (2006) มีการศึกษาผิวของเส้นใยพอลิเมอร์โดยการทำให้พลาสมาเจ็ทวิธีใหม่ ที่ความดันบรรยากาศ พบว่าอุณหภูมิของพลาสมาที่ได้อยู่ในช่วง 25 - 30°C ซึ่งความร้อนในช่วง ดังกล่าวสามารถทำการปรับปรุงเฉพาะที่ผิวของวัสดุของพอลิเมอร์โดยไม่ทำให้ส่วนถัดไปจากผิว เกิดความเสียหายได้ โดยทั่วไปการเกิดพลาสมาภายใต้บรรยากาศปกติจะเกิดความร้อนค่อนข้างสูง กว่าซึ่งอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50 - 300°C และพบว่าความยาวของพลาสมาเจ็ทมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของแก๊ส เมื่ออัตราการไหลของแก๊สเพิ่มขึ้นความยาวของพลาสมาเจ็ทก็เพิ่มขึ้นตามด้วย แต่อย่างไรก็ตามความยาวของพลาสมาเจ็ทยังอยู่ในระดับมิลลิเมตร และเมื่อศึกษาอัตราการไหลของ อากาศตั้งแต่ 2 - 5 slm ของพลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ พบว่าพลาสมาเจ็ทมีความยาว สูงสุดเท่ากับ 15 mm ที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 5 sml ภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 4.89 kV

Zhiqiang et al. (2009) ได้ศึกษาผลของเวลาที่ใช้พลาสมาเจ็ทระบบความดันบรรยากาศ ในการเปลี่ยนแปลงผิวของฟิล์มโพลีเอไมด์ 6 (Polyamide 6 Films) ซึ่งทำให้เกิดพลาสมาโดยใช้ แก๊ส ฮีเลียม (He) กับคาร์บอนเตตระฟลูออไรด์ (CF_4) พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงผิวของ ฟิล์มเพิ่มมากขึ้น มุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวของฟิล์มจะลดลงหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราการกัดกร่อนลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงผิวของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ในทาง ตรงกันข้ามคุณสมบัติความต้านทานในการลอกจะเพิ่มขึ้นในตอนแรก แล้วลดลงในตอนหลังแสดง ให้เห็นถึงสมบัติการยึดติดของพื้นผิว (Adhesion Properties) ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM แสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของฟิล์มที่ขรุขระมากขึ้นหลังจากเปลี่ยนแปลงผิวด้วยพลาสมา

และจากผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XPS แสดงให้เห็นถึงสายของพอลิเมอร์ที่เกิดจากอะตอมของฟลูออรีน และหรือออกซิเจนบนพื้นผิวของฟิล์ม

Zhiqiang (2011) มีการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างวัสดุกับหัวฉีดระบบพลาสมา เจ็ตที่ความดันบรรยากาศที่มีผลต่อพื้นผิว PA 6 โดยใช้แก๊สพลาสมาเป็นแก๊สที่เชื่อมกับออกซิเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างวัสดุกับหัวฉีดมีผลต่อการปรับสภาพพื้นผิว PA 6 คือ เมื่อระยะห่างระหว่างวัสดุถึงหัวฉีดเท่ากับ 1 mm และ 6 mm พื้นผิวของฟิล์มจะมีความหยาบอย่างชัดเจน และมีสมบัติการยึดเกาะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างวัสดุถึงหัวฉีดเท่ากับ 2 mm และ 3 mm พื้นผิวของฟิล์มจะมีความหยาบอย่างชัดเจนมากที่สุด และมีสมบัติการยึดเกาะมากที่สุด

Ligiang et al. (2011) ได้ทำการทดลองใช้พลาสมาเจ็ตระบบความดันบรรยากาศ จากแก๊สผสมระหว่างฮีเลียมกับออกซิเจนปรับปรุงคุณสมบัติชอบน้ำของผ้าฝ้ายถัก (Grey Cotton Knitted Fabric) เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ตกับตัวอย่างผ้าฝ้ายถักมีค่าต่าง ๆ กัน วิเคราะห์ผล โดยการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำบนตัวอย่างของผ้าฝ้ายถักหลังจากปรับสภาพ ด้วยพลาสมา พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนตัวอย่างผ้าฝ้ายถักมีค่าลดลงในช่วงแรก หลังจากนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างหัวฉีดเจ็ตกับตัวอย่างผ้าฝ้ายถักเพิ่มขึ้น ระยะห่างที่ดีที่สุดที่ทำให้ มุมสัมผัสของหยดน้ำบนผ้าฝ้ายถักมีค่าน้อยที่สุดอยู่ระหว่าง 2-3 mm