

บทที่ 1

บทนำ

การเคลือบฝังผิวด้วยพลาสมา (plasma immersion ion implantation, PIII) เป็นเทคนิคการปรับปรุง สมบัติเชิงผิวของวัสดุอีกวิธีหนึ่ง ที่เป็นการผสมผสานสองเทคนิคเข้าด้วยกัน ระหว่างเทคนิคการเคลือบผิวด้วยพลาสมาโดยการใส่วัสดุเป้าไว้ในพลาสมา (plasma immersion) และขณะเดียวกันก็ใช้เทคนิคประยุกต์สนามไฟฟ้าโดยการไบอัสศักย์ลบเข้าที่เป้าโลหะ ทำให้ไอออนในพลาสมาวิ่งชนเป้าด้วยพลังงานที่สูงตามศักย์ที่ใช้ไบอัส เทียบเท่ากับการเคลือบฝังผิวด้วยไอออน (ion implantation) แต่มีข้อดีกว่าหลายประการ เช่น ไอออนเข้าถึงเป้าได้รอบทิศทาง มิได้จำกัดไว้เพียงทิศทางเข้าด้านเดียว (direct line of side) ⁽¹⁾ เหมือนเช่นวิธีการเคลือบฝังด้วยไอออน นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเพราะไม่ต้องใช้ระบบขั้วไฟฟ้าดึง (extraction electrode) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ใช้ดึงไอออนออกมาจากพลาสมาก่อนที่จะเร่งให้มีพลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อส่งไปยังเป้า ระบบดังกล่าว เป็นตัวจำกัดประสิทธิภาพในการใช้ไอออนที่มีอยู่ในพลาสมา Andre ⁽²⁾ เป็นผู้หนึ่งที่สรุปความเป็นมาของ PIII ตั้งแต่ยุคเริ่มต้น ในปี 1970 โดย Melvin Widnev และ คณะได้เริ่มการคำนวณพลังงานและฟลักซ์ของไอออนที่ตกกระทบเป้าที่ไบอัสด้วยศักย์ไฟฟ้าลบแบบพัลส์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของ PIII จากนั้นอีกสิบปีถัดมา Richard Adler และคณะได้ทำการทดลองเป็นครั้งแรก โดยได้สร้างไอออนโลหะด้วยวิธีการอาร์กตรงระหว่างแคโทดและเป้าซึ่งทำหน้าที่เสมือนแอโนด

ต่อมาในปี ค.ศ. 1985 Ian. G. Brown ⁽³⁾ และคณะได้พัฒนาหัวกำเนิดไอออนโลหะชนิดอาร์กในสุญญากาศ (metal vapor vacuum arc, MEVVA) ขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งได้ทดสอบกับโลหะ Li, Al, Si, Ti, Fe, Co, Ni, Nb, La, Ta, Au, Pb และ U เพื่อรวบรวมข้อมูล สำหรับการพัฒนาหัวกำเนิด โดยการวัดกระแสไอออนด้วย Faraday cup พบว่าสามารถผลิตกระแสไอออนของโลหะต่างๆ ได้ในเรือนแอมแปร์ อีกสองปีต่อมา เขาได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าไบอัสโพรบ และกระแสพลาสมา พบว่า กระแสไอออนจะอิ่มตัวเมื่อไบอัส โพรบด้วยศักย์ลบค่าสูง โดยกระแสไอออนอิ่มตัวจะแปรผันตรงกับกระแสอาร์ก และเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในบริเวณจุดกำเนิดพลาสมา กระแสไอออนอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มมากที่สุด เมื่อสนามแม่เหล็กมีค่า 10 mT โดยจะได้กระแสไอออนเป็น 5 % ของกระแสอาร์ก ⁽⁴⁾ นอกจากนั้นยังพบว่า MEVVA สามารถผลิตพลาสมาของโลหะได้แทบทุกชนิด ในตารางธาตุ (มากกว่า 50 ธาตุ) และพลาสมาที่ผลิตมีประจุของไอออนสูงกว่าหัวกำเนิดชนิดอื่น (เฉลี่ย 1 + ถึง 3 +) ⁽⁵⁾ จึงสามารถเพิ่มพลังงานในการชนเป้าได้โดยง่าย สำหรับข้อเสียของ MEVVA นั้นอยู่ที่มีอนุภาคนขนาดใหญ่ (macroparticle) ประมาณ 0.1 – 10 μm ⁽⁶⁾ ปะปนมากับพลาสมาด้วย โดยธาตุที่มีจุดหลอม-

เหลวต่ำจะเกิดอนุภาคนาขนาดใหญ่จำนวนมาก อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้สนามแม่เหล็กในแนวแกนกลางของโซลินอยด์โค้งลำเลียงพลาสมา

โดยในปี ค.ศ. 1989 J. Storer⁽⁷⁾ และคณะได้ทดลองกำจัดอนุภาคนาขนาดใหญ่ เป็นครั้งแรกด้วยการใช้สนามแม่เหล็กในแนวแกนกลางของโซลินอยด์โค้ง ทำหน้าที่เสมือนเป็นท่อแม่เหล็กเพื่อลำเลียงพลาสมาของเหล็กที่ผลิตจาก MEVVA ทั้งนี้ได้ทำการแปรค่าสนามแม่เหล็กของโซลินอยด์ลำเลียงและวัดกระแสด้วย Collector plate probe พบว่า สนามแม่เหล็กจากโซลินอยด์ตรงสามารถเพิ่มกระแสพลาสมาที่ตกกระทบบนเป้าได้โดยจะมีปริมาณกระแสพลาสมาที่ตกกระทบบนเป้าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสนามแม่เหล็กมากขึ้นและจะเริ่มอิ่มตัว เมื่อค่าของสนามแม่เหล็กที่ให้ให้มีผลให้รัศมีการโค้งของไอออนมีค่าเท่ากับรัศมีวงในของโซลินอยด์ แต่ว่ายังมีอนุภาคนาใหญ่ระดับไมครอนจำนวนมากปะปนมากับลำพลาสมา สำหรับกรณีที่ใช้โซลินอยด์โค้ง 90 องศา มีอนุภาคนาใหญ่ปะปนมาน้อยมาก แต่ในขณะเดียวกันกระแสพลาสมามีค่าลดลงกว่ากระแสพลาสมาที่ได้จากโซลินอยด์ตรง หลังจากที่มีการพัฒนาระบบหัวกำเนิดและระบบลำเลียงแล้ว ก็เริ่มมีการนำหัวกำเนิด MEVVA มาใช้งานเชิงประยุกต์

ในปี ค.ศ. 1999 I. G. Brown และคณะ⁽⁸⁾ ได้พัฒนาระบบ PIII ที่มี MEVVA เป็นหัวกำเนิดพลาสมาทดสอบทำฟิล์มของ alumina-silica ($C_3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) บน SiC ซึ่งฟิล์มที่ได้มีความแข็งประมาณ 70 mPa และทนความร้อนสูงถึง 1,000 °C และในปีเดียวกันนั้น T. Zhang B. Y Tong⁽⁹⁾ ใช้ระบบ PIII ที่มี MEVVA เป็นหัวกำเนิดทดสอบทำฟิล์มของ Ti และ Ta ลงบน Silicon

นอกเหนือไปจากการศึกษาพัฒนาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบ PIII ที่มี MEVVA เป็นหัวกำเนิดพลาสมาแล้ว นักวิจัยต่างให้ความสนใจใช้ทดสอบทำฟิล์มของโลหะและสารประกอบต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของวัสดุ เช่นทำฟิล์มบางของ CrN ลงบน H13 Steel เพื่อเพิ่มความแข็งและความสามารถในการทนความร้อนสูงถึง 1,000 °C⁽¹⁰⁾ ทำฟิล์มของ Ti + N และ Ta + N ลงบนลูกปืน (bearing) เพื่อเพิ่มความแข็งและลดแรงเสียดทาน⁽¹¹⁾ ทำฟิล์มของ AlN เพื่อเพิ่มค่าความต้านทาน (10^{-9} - 10^{-11} Ωm) และนำความร้อนได้ดี (สูงกว่า 320 W/mK)⁽¹²⁾ ทำฟิล์ม Al_2O_3 ซึ่งมีลักษณะโปร่งแสงและป้องกันการออกซิไดซ์ของ substrate⁽¹³⁾ เป็นต้น และในปี ค.ศ. 2000 ห้องปฏิบัติการโซลิตสเตทและอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการออกแบบสร้างและพัฒนาหัวกำเนิด MEVVA ขึ้นและทำการติดตั้งระบบต่างๆ โดยใช้ทองแดง (Cu) เป็นโลหะแคโทดเพื่อทดสอบใช้งานขั้นพื้นฐานพบว่า ระบบต่างๆ สามารถทำงานได้ดีขณะปฏิบัติการที่อัตรากระแสอาร์ก 5.5 ฟลัสต่อวินาที และกระแสอาร์ก 100 แอมแปร์ โดยกระแสพลาสมาสูงสุดที่วัดได้จาก

โพรบแผ่นกลมเรียบที่ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร วางห่างจากผิวแคโทด 3 เซนติเมตร มีค่า 6 แอมแปร์⁽¹⁴⁾ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ปรับปรุงระบบให้มีความเชื่อถือและสามารถรองรับงานเชิงประยุกต์ได้

จากการทดลองต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มของการนำ PIII มาประยุกต์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงผิวในด้านต่างๆ มากขึ้นและขณะเดียวกันจะเห็นว่าการเก็บรวบรวมข้อมูลและพัฒนาระบบเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะระบบแต่ละระบบมีการออกแบบที่แตกต่างกันจึงมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเฉพาะของระบบและการพัฒนาจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลสมบัติทางไฟฟ้าของหัวกำเนิด และระบบ PIII ซึ่งหมายถึงการศึกษาประสิทธิภาพในการอาร์ก เพื่อผลิตกระแสไอออนของวัสดุแคโทดที่เห็นว่ามีศักยภาพในเชิงประยุกต์ อาทิ คาร์บอน (C) อะลูมิเนียม (Al)⁽¹³⁾ ไทเทเนียม (Ti)⁽¹¹⁾ เหล็ก (Fe) และทองแดง (Cu) เพื่อรองรับการประยุกต์ PIII ที่จะดำเนินการต่อไป นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกระแสไอออนโดยใช้สนามแม่เหล็กโพกัสซึ่งนักวิจัยก่อนหน้านี้จะให้ความสนใจเฉพาะขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็ก^(15,16) สำหรับในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจตำแหน่งและโปรไฟล์แม่เหล็กโพกัสเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กระแสไอออนสูงสุด ตลอดจนการทดลองใช้แม่เหล็กโพกัสร่วมกับโซลินอยด์ชนิดตรงและโค้ง อนึ่งในงานวิจัยนี้ไม่เพียงแต่เป็นการศึกษาทางฟิสิกส์เท่านั้น แต่รวมถึงการพัฒนาระบบเพิ่มเติมด้วย ทั้งนี้ เพราะระบบที่ทำมาก่อนหน้านี้ยังไม่เสร็จสมบูรณ์จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบและพัฒนาระบบอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นเอง อาทิ เช่น ระบบวัดกระแสอาร์ก โพรบวัดกระแส ระบบขับเคลื่อนในสุญญากาศ และโปรแกรมอ่านค่ากราฟจากรูปภาพ เป็นต้น