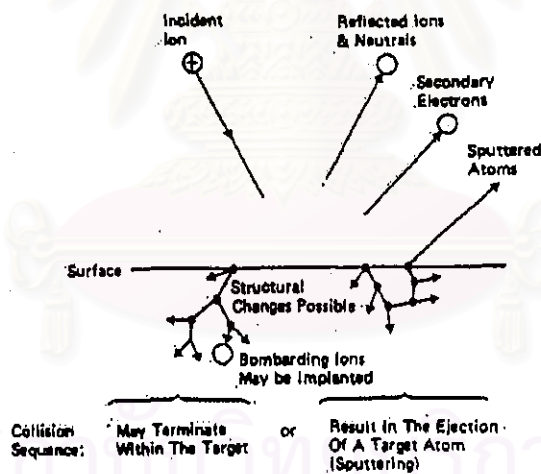


การเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีสปัตเตอริง

การเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีสปัตเตอริง เป็นกระบวนการเคลือบฟิล์มที่เกิดขึ้นภายใต้สภาพ โกลดติสซาร์จ โดยมีไอออนบวกเป็นตัวสปัตเตอริง(sputtering specis) และมีวัสดุที่ใช้ทำคาโทดเป็นเป้า (sputtering target) เมื่อเป้าถูกชนโดยไอออนบวกพลังงานสูงจนทำให้อะตอมของเป้าหลุดออก เรียก กระบวนการนี้ว่า สปัตเตอริง(sputtering)

ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปัตเตอริง



รูปที่ 3.1 กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อไอออนบวกชนผิวของเป้า

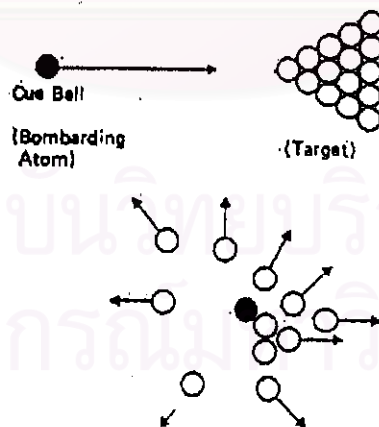
เมื่อเป้าที่เป็นของแข็งถูกชนโดยไอออนบวกจะเกิดปรากฏการณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ

- ไอออนบวกที่เข้าชนสะท้อนกลับ หรือถูกทำให้เป็นกลางขณะชน
- มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ(secondary electron emission)

- ไอออนบวกที่เข้าชนมีการฝังตัวในเป้า (ion implantation)
- มีการจัดโครงสร้างใหม่ภายในเป้า
- มีการชนอย่างต่อเนื่อง (collision cascade) ระหว่างอะตอมของเป้าแล้ว จะทำให้อะตอมบริเวณผิวหน้าของเป้าถูกกระแทกหลุดออก ที่เป็นปรากฏการณ์ สปีดเตอริง

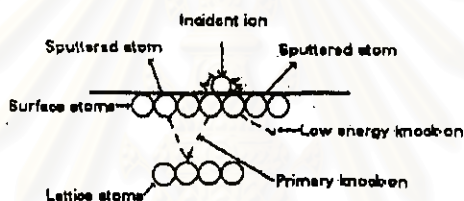
การเกิดปรากฏการณ์แต่ละแบบที่กล่าวข้างต้นขึ้นกับชนิดและพลังงานของไอออนบวกที่เข้าชน สำหรับในกรณีการสปีดเตอริงจะเกิดได้ดีในช่วงพลังงานของไอออนบวกประมาณ 100 อิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

กลไกของการสปีดเตอริงอาจเปรียบเทียบได้กับการชนของลูกบิลเลียด แสดงดังรูปที่ 3.2 พิจารณาให้อนุภาคทั้งหมดเป็นทรงกลมแข็ง โดยให้ไอออนบวกเป็นลูกขาว (cue ball) และให้อะตอมที่ผิวของเป้าเป็นลูกสี (colored ball) ที่เรียงกันเป็นระเบียบ การชนของลูกขาวจะทำให้ลูกสีกระเทบกันเป็นทอดๆ แล้วกระเจิงออกทุกทิศทางรวมทั้งในทิศย้อนกลับสู่ผู้เล่น ซึ่งเทียบได้กับอะตอมถูกสปีดเตอริงออกจากเป้า ในความเป็นจริงจะมีแรงระหว่างอะตอมซึ่งจะแตกต่างจากกรณีของลูกบิลเลียด แต่แบบจำลองการชนนี้ก็สามารอธิบายได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด การถ่ายทอดพลังงานการชนของอนุภาคแต่ละคู่ระหว่างไอออนบวกกับอะตอมของเป้า และระหว่างอะตอมของเป้าด้วยกันเอง ถือเป็น การชนแบบยืดหยุ่น สามารถอธิบายได้โดยฟังก์ชันการส่งผ่านพลังงานดังที่กล่าวมาในบทที่แล้ว



รูปที่ 3.2 การสปีดเตอริงเปรียบเทียบกับการเล่นบิลเลียด

การที่ไอออนบวกชนเป้าแล้วมีการถ่ายโอนโมเมนตัมให้กับอะตอมของผิวเป้าที่อยู่หนึ่ง เป็นกลไกที่นำไปสู่การสเปตเตอร์อะตอมออกจากผิวของเป้าซึ่งแสดงดังรูปที่ ในการชน ไอออนบวกจะชนผิวของเป้า 2 หรือ 3 อะตอมเกือบพร้อมๆกัน อะตอมที่ถูกชนตอนแรกจะยังไม่ถูกสเปตเตอร์แต่เป็นอะตอมข้างเคียง อะตอมที่ถูกชนการชนจะมีสองลักษณะคือ แบบแรก อะตอมถูกชนในลักษณะ low energy knock-on องค์ประกอบของโมเมนตัมส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวขนานกับผิวของเป้า มีการเคลื่อนตัวในแนวเฉียงด้านข้างกระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าซึ่งอยู่ให้หลุดออก เป็นการชนเพียงครั้งเดียว แบบที่สอง อะตอมถูกชนในลักษณะ primary knock-on องค์ประกอบของโมเมนตัมส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวพุ่งเข้าสู่เป้า อะตอมจะเคลื่อนตัวลงไปชนกับอะตอมในชั้นถัดไป ทำให้ตัวมันเองสะท้อนกลับไปที่กระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าให้หลุดออก หรือมีการชนต่อไปอย่างต่อเนื่อง จนทำให้อะตอมอื่นได้รับโมเมนตัมในทิศเปลี่ยนไปมากกว่า 90 องศา เมื่อเทียบกับโมเมนตัมของไอออนบวกที่เข้าชน อะตอมเหล่านี้ก็จะกระแทกอะตอมที่ผิวของเป้าให้หลุดออกในที่สุด



รูปที่ 3.3 การถ่ายโอนโมเมนตัมในกระบวนการสเปตเตอร์

พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายการสเปตเตอร์เชิงปริมาณ คือ อัตราสเปตเตอร์ (sputtering yield: S) เป็นปริมาณที่บอกถึงจำนวนอะตอมของเป้าที่หลุดออกต่อการชนของไอออนบวก 1 ตัว อัตราสเปตเตอร์ขึ้นกับ ชนิด พลังงานและทิศทางของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า ในกรณีที่ไอออนบวกเข้าชนเป้าในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของเป้าที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมแบบสุ่ม จากแบบจำลองการชนแบบยืดหยุ่น อัตราสเปตเตอร์ ในช่วงพลังงานของไอออนบวกน้อยกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์เขียนได้ดังสมการ [31]

$$S = \frac{3\alpha}{4\pi^2} \frac{4m_1m_2E_i}{(m_1+m_2)^2E_b} \quad (3.1)$$

และในช่วงพลังงานของไอออนบวกสูงกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เขียนได้ดังสมการ

$$S = 3.56\alpha \frac{(Z_1 Z_2)(m_1 m_2)}{(Z_1^3 + Z_2^3)(m_1 + m_2) E_b} S_n(E_i) \quad (3.2)$$

โดย m_1 และ E_1 เป็นมวลและพลังงานจลน์ของไอออนบวก

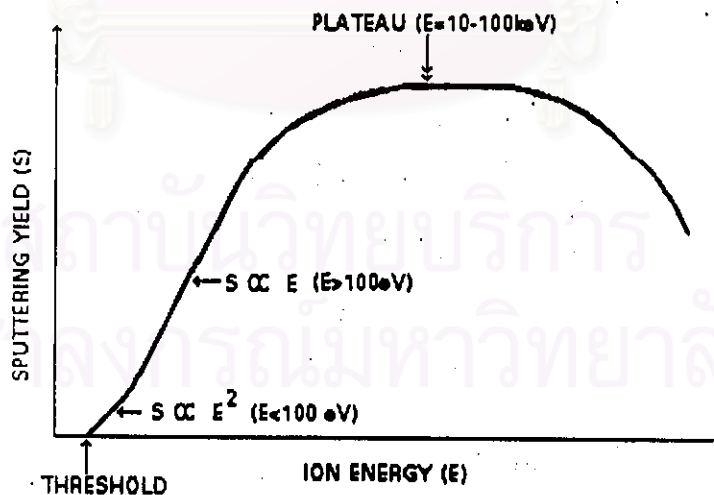
m_2 และ E_2 เป็นมวลของอะตอมเป้าและพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่ผิวของเป้า

หรือพลังงานการระเหิด(heat of sublimation)

Z_1 และ Z_2 เป็นเลขอะตอมของไอออนบวกและอะตอมของเป้า

α เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้วัดการส่งผ่านโมเมนตัมในขณะชน มีค่าขึ้นกับอัตราส่วน m_1/m_2 โดย α จะเท่ากับ 0.17 เมื่ออัตราส่วน m_1/m_2 เท่ากับ 0.1 และจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.4 เมื่ออัตราส่วน m_1/m_2 เท่ากับ 10

$S_n(E_i)$ คือ reduced stopping power เป็นพารามิเตอร์ที่วัดการสูญเสียพลังงานของไอออนบวกต่อหน่วยระยะทาง และเป็นฟังก์ชันกับพลังงานของไอออนบวก รวมทั้งมวลและเลขอะตอมของอนุภาคที่เกี่ยวข้อง เมื่อไอออนบวกมีพลังงานสูงอัตราสปีดเตอร์จึงค่อนข้างจะคงที่เนื่องจาก $S_n(E)$ มีแนวโน้มเป็นอิสระจากพลังงานของไอออนบวก



รูปที่ 3.4 ลักษณะแบบฉบับของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสปีดเตอร์กับพลังงานไอออนบวก

สมการทั้งสองข้างต้น แสดงถึงความสัมพันธ์ของอัตราสปีดเตอริงกับพารามิเตอร์ต่างๆของไอออนบวกและเป้าที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสปีดเตอริง รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสปีดเตอริงกับพลังงานของไอออนบวก จะเห็นว่า เป้าจะเริ่มถูกสปีดเตอริงเมื่อถูกชนด้วยไอออนบวกที่มีพลังงานสูงเท่ากับพลังงานขีดเริ่ม(threshold energy)ของการสปีดเตอริง ในช่วงพลังงานของไอออนบวกมีค่าใกล้กับพลังงานขีดเริ่ม($E_i < 100$ อิเล็กตรอนโวลต์) อัตราสปีดเตอริงจะแปรผันตามพลังงานของไอออนบวกยกกำลังสอง และจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นในช่วงพลังงานของไอออนบวกระหว่าง 0.1 ถึง 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ หลังจากนั้นจะเพิ่มช้าลงและคงที่ในช่วงพลังงานของไอออนบวกระหว่าง 10 ถึง 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ หากเพิ่มพลังงานไอออนบวกต่อไปอีกอัตราสปีดเตอริงจะลดลง เนื่องจากไอออนบวกมีพลังงานสูงเมื่อชนเป้าจะฝังตัวลึกและสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็ว หากพิจารณาการใช้งานแล้วช่วงพลังงานไอออนบวกที่เหมาะสมที่สุดในการสปีดเตอริงอยู่ในช่วงพลังงานของไอออนบวกน้อยกว่า 1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

การเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีสปีดเตอริง

1. หลักการเบื้องต้น

การเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปีดเตอริงภายใต้ระบบโกลวดิสชาร์จโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

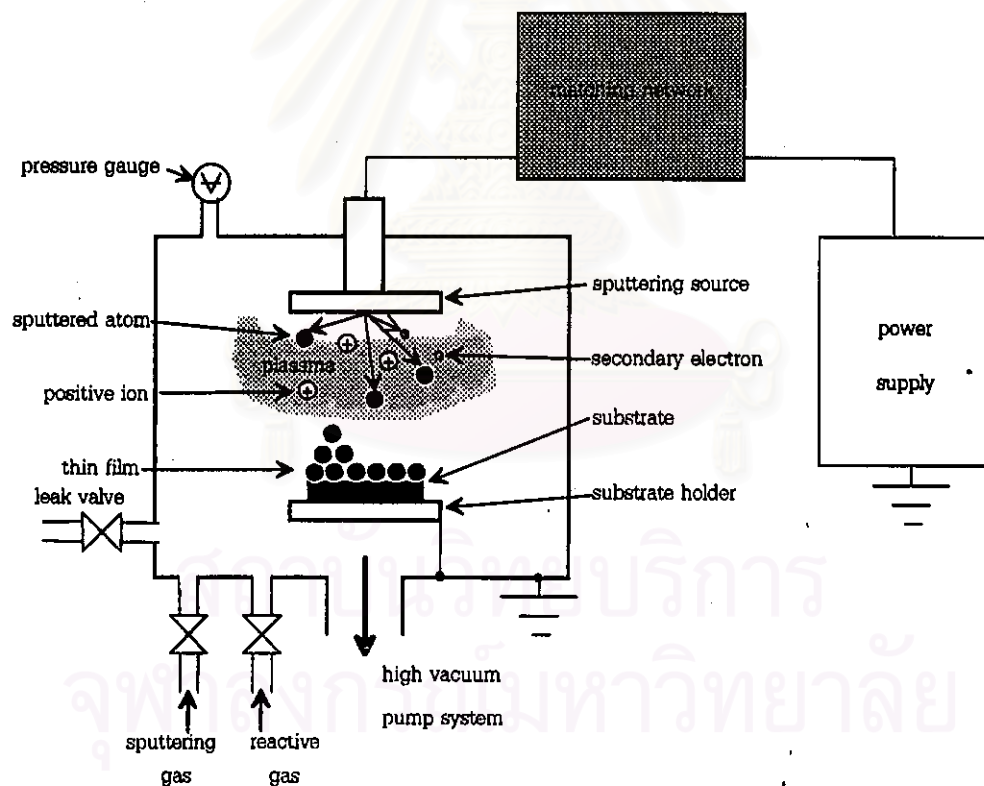
- ระบบดีซีไดโอดสปีดเตอริง(DC sputtering) เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของระบบสปีดเตอริงเหมาะสำหรับการสปีดเตอริงเคลือบฟิล์มที่เป็นโลหะ
- อาร์เอฟไดโอดสปีดเตอริง(RF sputtering) เป็นการสปีดเตอริงโดยไฟฟ้ากระแสสลับ เหมาะสำหรับการสปีดเตอริงเคลือบฟิล์มที่เป็นสารกึ่งตัวนำหรือฉนวน

นอกจากนี้ยังแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ

- แมกนีตรอน สปีดเตอริง(magnetron sputtering) เป็นการใช้สนามแม่เหล็กช่วยในเพิ่มประสิทธิภาพในการสปีดเตอริง สามารถใช้ได้ทั้งในระบบ ดีซี สปีดเตอริง และอาร์เอฟ สปีดเตอริง ซึ่งเรียกว่า ดีซี แมกนีตรอนสปีดเตอริง และอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปีดเตอริง ตามลำดับ

- รีเอคทีฟ สเปตเตอริง(reactive sputtering) เป็นการป้อนแก๊สไปปฏิกิริยาผสมกับแก๊สที่เป็นตัวสเปตเตอริง เป็นเทคนิคในการสเปตเตอริงเคลือบฟิล์มที่เป็นสารประกอบ รูปแบบอาจเป็นได้ทั้ง ดีซี แมกเนตรอน สเปตเตอริง หรือ อาร์เอฟ แมกเนตรอนสเปตเตอริง

รูปแบบของระบบทั้งหมดจะมีหลักการเหมือนกันคือ ประกอบด้วยเป้าสำหรับสเปตเตอริงซึ่งเป็นวัสดุต้นกำเนิดฟิล์มทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทด วัสดุรองรับจะวางห่างจากเป้าประมาณ 4-10 เซนติเมตร ส่วนประกอบทั้งหมดอยู่ในภาชนะสุญญากาศที่ถูกปั๊มตลอดเวลา แก๊สที่เป็นตัวสเปตเตอริงจะถูกป้อนเข้าภาชนะสุญญากาศจนถึงช่วงความดันใช้งาน(ระหว่าง 30-120 มิลลิทอร์) เมื่อป้อนความต่างศักย์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างเป้ากับอานอด จนกระทั่งเกิดการโกลดิสซาร์จที่สามารถรักษาสภาพการดิสซาร์จได้เองแล้ว เมื่อไอออนบวกชนเป้าจะเกิดปรากฏการณ์ที่เกี่ยวเนื่องและนำไปสู่การเคลือบฟิล์มในที่สุด แสดงดังรูปที่

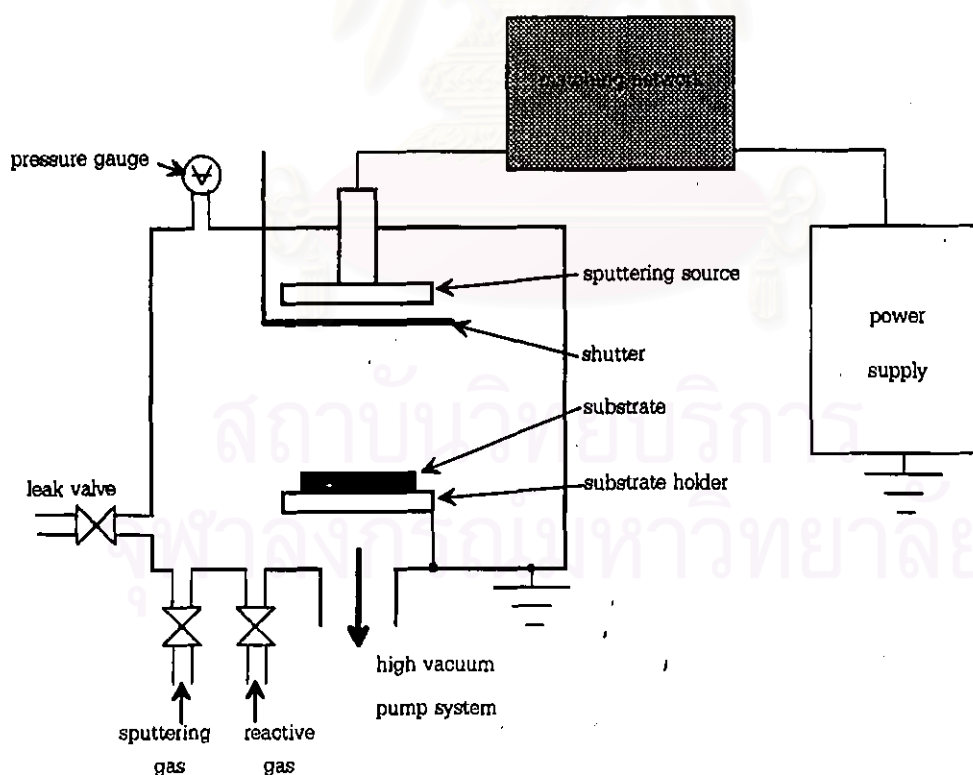


รูปที่ 3.5 ระบบอาร์เอฟไดโอดสเปตเตอริง

2. โครงสร้างระบบเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอร์

ระบบสปัตเตอร์ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ โดยมีชื่อตามที่มีการดัดแปลงการใช้งานดังตัวอย่างที่กล่าวในตอนที่แล้ว อย่างไรก็ตามระบบเหล่านี้มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วย

- ภาชนะสุญญากาศ(vacuum chamber) สำหรับบรรจุแก๊สของการดิสชาร์จ และติดตั้งส่วนประกอบอื่นๆ ทำจาก แก้ว เทลลูไรด์ หรือโลหะผสม ที่ผ่านการตรวจสอบสุญญากาศแล้ว
- ระบบปั๊มสุญญากาศ(high vacuum pump) ที่มีความสามารถปั๊มความดันลงได้ต่ำกว่า 10^{-6} ทอร์รี่ ทั่วไปเป็นระบบผสมระหว่าง โรตารีกับปั๊มเพอร์โวน้ำมัน หรือปั๊มแบบโรตารีกับปั๊มเทอร์โบโมเลคิวลา
- หัววัดความดันแก๊ส(pressure gauge)ในภาชนะสุญญากาศ พร้อมด้วยระบบวัดและแสดงผล ทั้งในย่านความดันต่ำและความดันใช้งาน



รูปที่ 3.6 ลักษณะทั่วไปของระบบเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีสปัตเตอร์

- แหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์(sputtering source) ประกอบด้วยเป้าและพร้อมแท่นยึด สำหรับระบบแมกนีตรอนสปัตเตอร์ภายในจะบรรจุแหวนแม่เหล็กได้เป้า .

- แหล่งจ่ายไฟฟ้า(power supply)ทั่วไปมีสองชนิดคือ ชนิดกระแสตรง(DC power supply) สำหรับระบบดีซีสปัตเตอร์ และชนิดกระแสสลับ(RF power supply) ความถี่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับระบบอาร์เอฟสปัตเตอร์

- หน้ากาก(shutter)ใช้สำหรับเปิดปิดฟลักซ์ของอะตอมที่หลุดจากแหล่งกำเนิดการสปัตเตอร์

- แท่นวางวัสดุรองรับ(substrate holder)สำหรับวางวัสดุรองรับฟิล์ม

- แหล่งแก๊สตัวสปัตเตอร์(sputtering gas) จะต้องเป็นแก๊สที่ไม่ทำปฏิกิริยากับเป้าและฟิล์มที่เกิดขึ้น หรือส่วนประกอบอื่นๆในภาชนะสุญญากาศ นอกจากนี้ ต้องไม่เป็นพิษและควรมีมวลมากจะทำให้ได้อัตราสปัตเตอร์ที่สูง ที่ใช้กันทั่วไป คือ แก๊สอาร์กอน เพราะ ไม่เป็นพิษ หาง่ายและราคาถูก แต่ยังไม่ใช่แก๊สเฉื่อยที่มีมวลมากที่สุด

นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นเพิ่มเติมตามจุดประสงค์การใช้งาน เช่น

- วงจรแมชซิง(match network) สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งกำลังไฟฟ้า และป้องกันแหล่งกำเนิด ในกรณีของอาร์เอฟ สปัตเตอร์

- ตัวทำความร้อน(heater) สำหรับเพิ่มอุณหภูมิวัสดุรองรับพร้อมด้วยระบบวัดและควบคุมอุณหภูมิ

- แหล่งจ่ายไฟฟ้าไบแอสสำหรับป้องกันความต่างศักย์ให้กับวัสดุรองรับในกรณีของไบแอสสปัตเตอร์

- เครื่องวิเคราะห์แก๊ส หรือ optical emission monitor สำหรับวัด partial pressure และฟลักซ์ของอะตอมที่ถูกสปัตเตอร์

- แหล่งกำเนิดไอออนบวกที่แยกส่วนจากระบบโกลด์สซาร์จ ใช้กระแทกฟิล์มในระหว่างที่กำลังเคลือบ

- แหล่งแก๊สไวปฏิกิริยา(reactive gas) ได้แก่ ออกซิเจน ไนโตรเจน สำหรับระบบรีแอคทีฟสปัตเตอร์

- ระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

3. อัตราการเคลือบฟิล์ม

อัตราการเคลือบฟิล์ม คือ ความหนาของฟิล์มต่อหน่วยเวลา ขึ้นกับปริมาณอะตอมของเป้าที่ถูกสปัตเตอร์ และสภาพการขนส่งอะตอมเหล่านี้ไปยังวัสดุรองรับ อัตราการเคลือบฟิล์มจะสัมพันธ์กับ กระแส ความต่างศักย์ และความดันแก๊ส ในสภาวะการโกลดิสซาร์จ และยังขึ้นกับระยะระหว่างเป้ากับ วัสดุรองรับ

เนื่องจาก กระแส ความต่างศักย์ และความดันแก๊ส เป็นปริมาณที่ขึ้นต่อกัน การวัดผลกระทบของตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งไม่สามารถกระทำได้ ในทางปฏิบัติจึงละเลยตัวแปรที่มีผลน้อยที่สุด ควบคุมตัวแปรอีกตัวให้คงที่แล้วจึงศึกษาผลจากตัวแปรที่สนใจ เช่น วัดความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับ กำลังไฟฟ้าที่ความดันคงที่ กำลังไฟฟ้าในที่นี้เป็นผลรวมผลของกระแสและความต่างศักย์ของการดิสซาร์จเข้าด้วยกัน วิธีนี้ใช้มากในระบบอาร์เอฟสปัตเตอร์ริง สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้า(P) ความดันแก๊ส(p) และระยะจากเป้าถึงวัสดุรองรับ(l) ได้ในรูปของ

$$R \propto \frac{P}{pl}$$

4. โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบาง(microstructure of thin film)

โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบางที่ได้จากการสปัตเตอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 โชน ตามอัตราส่วน T_s/T_m และความดันแก๊ส เมื่อ T_s เป็นอุณหภูมิของวัสดุรองรับ และ T_m เป็นจุดหลอมเหลวของวัสดุต้นกำเนิดฟิล์ม[32] แสดงดังรูปที่ 3.7

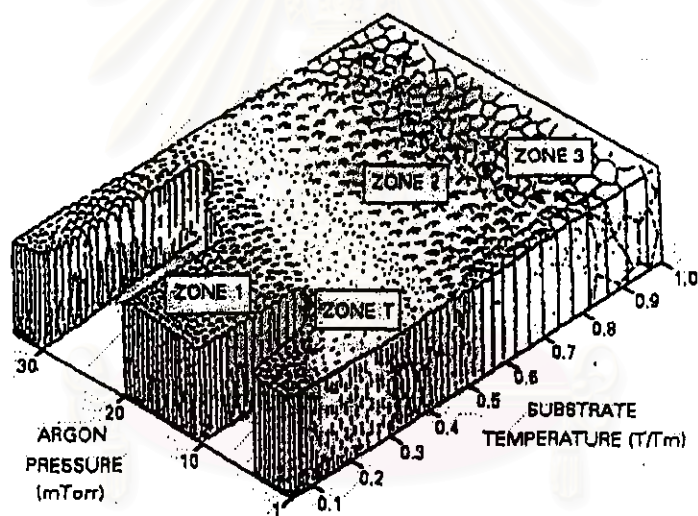
โครงสร้างโชน 1 ประกอบด้วยแท่งเกรนเรียว(tapered column grain) เรียงกันอย่างหลวมๆ ระหว่างเกรนเหล่านี้มีช่องว่าง(void)ค่อนข้างมาก มีลักษณะผิวหน้าขรุขระ เสถียรภาพต่ำ โครงสร้างภายในไม่ชัดเจน และสมบัติต่างจากสมบัติของ bulk มาก โครงสร้างของฟิล์มแบบนี้เกิดจาก อัตราส่วน T_s/T_m น้อยกว่า 0.3 ความดันสูงกว่า 10 มิลลิทอร์

โครงสร้างโชน 2 ประกอบด้วย column grains อัดกันค่อนข้างแน่น เกิดจาก T_s/T_m มีค่าระหว่าง 0.3-0.5 อุณหภูมิวัสดุรองรับระดับนี้ทำให้การเติมอะตอมในที่ว่างเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

ความกว้างของเกรนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิวัสดุรองรับและอาจขยายได้ตลอดตามแนวความหนาของฟิล์ม
โครงสร้างแบบนี้แสดงความแกร่งเชิงกลสูง

โครงสร้างโซน 3 เกิดขึ้นเมื่อ T_s/T_m สูงกว่า 0.5 ประกอบด้วยเกรนที่สม่ำเสมอ และมีสมบัติใกล้เคียงกับ bulk

โครงสร้างโซน T เกิดขึ้นเมื่อฟิล์มในโครงสร้างโซน 1 ที่เคลือบบนวัสดุรองรับความเรียบอนันต์ และ T_s/T_m เป็นศูนย์ ประกอบด้วย poorly defined fibrous grains อัดกันแน่นโดยไม่มีช่องว่างตรงรอยต่อ เป็นฟิล์มที่มีผิวเรียบ ความหนาแน่นสูง

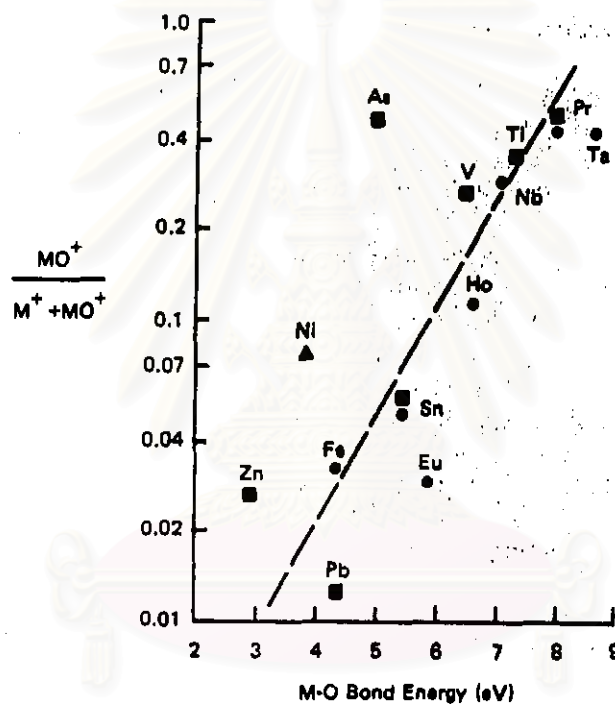


รูปที่ 3.7 แบบจำลองโครงสร้าง(Zone model)แสดงอิทธิพลของวัสดุรองรับ

และความดันแก๊สอาร์กอน ที่มีต่อโครงสร้างของฟิล์มบางที่เคลือบโดยวิธีสปัตเตอร์

การสปีดเตอร์เป่าที่เป็นสารประกอบ

การสปีดเตอร์เป่าที่เป็นสารประกอบเคมี เช่นในกรณีของโลหะออกไซด์ เป้ามีโอกาที่จะถูกสปีดเตอร์เป็นได้ทั้งอะตอมหรือโมเลกุล ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนไอออนของอะตอมโลหะและไอออนของโมเลกุลคู่ของโลหะออกไซด์ (OM^+) ต่อไอออนทั้งหมดที่ถูกสปีดเตอร์ออกมาสามารถเขียนได้เป็น[33]



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของไอออนโมเลกุลคู่ (MO^+/M^++MO^+)

กับ พลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะของโลหะออกไซด์

$$\eta = \frac{OM^+}{(M^++OM^+)} \quad (3.3)$$

สำหรับโลหะ M รูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่า η ขึ้นกับความแข็งแรงของพันธะของโลหะออกไซด์ M-O ดังจะเห็นว่าความแข็งแรงของพันธะไอออนโลหะออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นจะลดการแตกตัวของโมเลกุลลง

η จะเป็นตัวกำหนดและวัดสำหรับไอออนโมเลกุลที่ถูกสปีดเตอร์ออกมา ซึ่งสัมพันธ์กับโมเลกุลที่เป็นกลางที่ให้ผลไม่แตกต่างกันมาก นอกจากนี้ η ยังขึ้นกับความดันที่ใช้สปีดเตอร์ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้สัดส่วน η ลดลง และที่ความดันเป็นศูนย์แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของไอออนที่อยู่ในบริเวณเป้า

พลังงานของไอออนบวกที่เข้าชนกับเป้า หากมีพลังงานมากพอที่จะส่งให้กับคู่ของโมเลกุลแล้ว จะทำให้โมเลกุลสามารถที่จะหลุดจากเป้าเป็นคู่ได้ พลังงานที่ไอออนบวกส่งให้กับคู่ของโมเลกุลจะขึ้นกับฟังก์ชันการส่งผ่านพลังงาน ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลของไอออนที่เข้าชนเท่ากับมวลของอะตอมที่ถูกชน ในรูปที่ 3.8 โลหะเป้าที่มีมวลเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับออกซิเจนจะเห็นได้ในบริเวณใกล้เส้นประ และยังแสดงให้เห็นว่าไอออนโมเลกุลขนาดใหญ่จะขึ้นกับพันธะของโลหะออกไซด์

การก่อตัวเป็นฟิล์มจากการสปีดเตอร์เป้าของสารประกอบ[34]

การสปีดเตอร์เป้าที่เป็นสารประกอบที่เป็นโลหะออกไซด์หรือสารประกอบอื่น โมเลกุลของเป้าที่ถูกสปีดเตอร์ออกมาจะไม่สมบูรณ์ จึงทำให้องค์ประกอบของฟิล์มที่ได้แตกต่างจากเป้า เนื่องจากการขาดหายของอะตอมแก๊สภายในฟิล์ม และสภาพการขนส่งอะตอมไปยังวัสดุรองรับ ตัวอย่างเช่น ในการสปีดเตอร์เป้าคอปเปอร์ในแก๊สอาร์กอน ฟิล์มที่ได้จะมีการขาดหายของอะตอมของออกซิเจน วิธีการแก้ไขการขาดหายของอะตอมแก๊สออกซิเจนกระทำได้โดย สปีดเตอร์ด้วยแก๊สผสมระหว่าง 95% Ar:5% O₂ หรือที่เรียกว่า รีแอคทีฟสปีดเตอร์ริง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ออกซิเจนที่ป้อนเข้าไปทั้งหมดจะถูกไอออไนซ์และเข้าไปจับบนฟิล์ม ทำให้องค์ประกอบของฟิล์มมีความสมบูรณ์มากขึ้น การไอออไนซ์ของออกซิเจนเกิดจากการถ่ายเทพลังงานจากอิเล็กตรอนภายในสภาพโกลวดิสชาร์จ

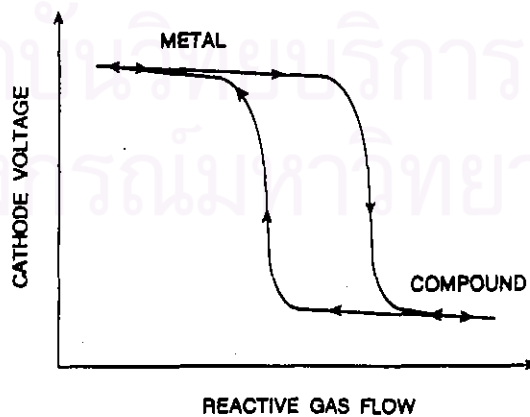
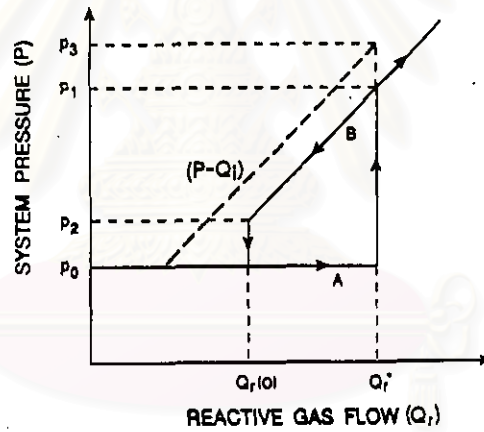
การสปีดเตอร์ด้วยแก๊สไวปฏิกิริยา

การสปีดเตอร์เคลือบฟิล์มที่เป็นสารประกอบจากเป้าที่เป็นโลหะ สามารถกระทำได้โดยสปีดเตอร์ในแก๊สผสมระหว่างแก๊สที่เป็นตัวสปีดเตอร์แก๊สไวปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่า รีแอคทีฟสปีดเตอร์ริง(reactive sputtering) สารประกอบทั่วไปที่เตรียมโดยวิธีนี้คือ[35]

- สารประกอบออกไซด์ เช่น Al₂O₃, In₂O₃, SnO₂, SiO₂, Ta₂O₅ เป็นต้น ใช้ O₂ เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา
- สารประกอบไนไตรด์ เช่น TaN, TiN, AlN, Si₃N₄ เป็นต้น ใช้ N₂ หรือ NH₃ เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา

- สารประกอบคาร์ไบด์ เช่น TiC, WC, SiC เป็นต้น ใช้ methane, acetylene หรือ propane เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา
- สารประกอบซัลไฟด์ เช่น CdS, CuS, ZnS เป็นต้น ใช้ H₂S เป็นแก๊สไวปฏิกิริยา
- สารประกอบออกไซด์คาร์ไบด์ หรือ ออกซิไนไตร์ ของ Ti, Ta, Al และ Si

การเตรียมฟิล์มโดยวิธีแอคทีฟสปัตเตอร์ฟิล์มที่ได้สามารถเป็นได้ทั้งอัลลอยของเป้าที่เจือโดยธาตุที่เข้าทำปฏิกิริยา(แก๊สไวปฏิกิริยา) , สารประกอบ หรืออาจเป็นได้ทั้งสองอย่าง สภาวะทั้งสองสามารถแบ่งได้แสดงดังรูปที่ 3.9 (บน) เรียกว่า เส้นโค้งฮิสเทอรีซิส(hyteresis curve) สำหรับความดันรวมของระบบ P ที่เป็นฟังก์ชันของอัตราการไหลของแก๊สไวปฏิกิริยา(Q)ที่ไหลเข้าสู่ภายในระบบ พิจารณาเส้นประแสดงการเปลี่ยนแปลงของความดัน P อันเกิดจากอัตราการไหลของแก๊สที่เป็นตัวสปัตเตอร์(Q) จะเห็นว่าความดัน P จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของแก๊สที่เป็นตัวสปัตเตอร์เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มขึ้นของความดันอันเนื่องมาจากอัตราการปั๊มที่คงที่



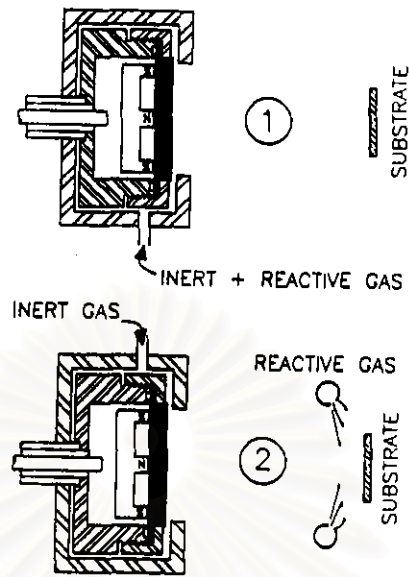
รูปที่ 3.9 ลักษณะเส้นโค้งฮิสเทอรีซิสของความดันของระบบ(บน)และศักย์ไฟฟ้าบริเวณเป้า(ล่าง) ที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของแก๊สไวปฏิกิริยา

พิจารณาตัวอย่างการสับเตอร์ Ta ด้วยสับเตอร์ริงแก๊สอาร์กอนเมื่อป้อนแก๊ส N_2 (แก๊สไวปฏิกิริยา) เข้าสู่ระบบ Q_r จะเริ่มเพิ่มขึ้นจาก $Q_r(0)$ ความดันของระบบยังคงอยู่ที่ค่าเริ่มต้น P_0 ในตอนนี้แก๊ส N_2 ทั้งหมดเข้าทำปฏิกิริยากับ Ta เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊ส N_2 จนถึงค่าวิกฤต Q_r^* ความดันของระบบจะเพิ่มขึ้นสู่ค่าใหม่ P_1 ในขณะนี้ได้การระเหิดที่สับเตอร์หยุดลง ความดันของระบบจะเพิ่มสูงขึ้นสู่ระดับ P_2 ที่สภาวะสมดุล P คงที่ หากมีการเปลี่ยนแปลง Q_r ในขณะที่การระเหิดที่สับเตอร์กำลังดำเนินอยู่ จะทำให้ความดันของระบบ P เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบเชิงเส้น และหาก Q_r ลดลงจนถึงจุดที่ N_2 เข้าทำปฏิกิริยาพอดีกับ Ta แล้ว ความดันของระบบ P ก็จะกลับสู่ค่าเริ่มต้นอีก

เส้นโค้งฮิสเทอรีซิสดังกล่าว แสดงให้เห็นสองสถานะที่คงตัวของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในสถานะ A มีการเปลี่ยนแปลงความดันเพียงเล็กน้อย แต่สถานะ B ความดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแบบเชิงเส้นที่ขึ้นกับ Q_r การเปลี่ยนแปลงทั้งสองกรณีทำให้เห็นว่า ในสถานะ A แก๊สไวปฏิกิริยา ทั้งหมดเข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมที่ถูกสับเตอร์แล้วจึงก่อตัวเป็นฟิล์ม และการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนอะตอมแก๊สไวปฏิกิริยาในฟิล์มสามารถกระทำได้โดยเพิ่มอัตราการไหล Q_r การเปลี่ยนสถานะระหว่าง A ไปยัง B เกิดจากการที่มีการก่อตัวของสารประกอบบริเวณผิวของเป่า ในการสับเตอร์สารประกอบนั้นทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิบริเวณผิวของเป่า ด้วยเหตุนี้ศักย์ไฟฟ้าของเป่าที่มีสารประกอบก่อตัวอยู่จึงต่ำกว่าเป่าที่เป็นโลหะ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ล่าง)

ลักษณะของโครงสร้างของระบบรีแอกทีฟสับเตอร์ทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบที่ให้แก๊สไวปฏิกิริยาบริเวณเป่า และแบบที่ให้แก๊สไวปฏิกิริยาบริเวณวัสดุรองรับ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.10 ในทางปฏิบัติสามารถเลือกเตรียมฟิล์มจากเป่าที่เป็นสารประกอบได้โดยใช้เทคนิครีแอกทีฟสับเตอร์ เพื่อช่วยให้ฟิล์มมีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ลักษณะทั่วไปของระบบรีแอคทีฟ สเปคเตอริง

(1) แบบที่มีการนำแก๊สไวปฏิกิริยาเข้าบริเวณเป้า

(2) แบบที่มีการนำแก๊สไวปฏิกิริยาเข้าบริเวณหัวสุตรองรับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย