

ศึกษาระบบการเคลือบภายใต้สุญญากาศขนาดเล็กสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อน

Study of a small vacuum coating system for thermal evaporation

สรพงษ์ นรสิงห์^{1*} สมยศ เเด่นจิตเจริญ² และ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ³

¹นักศึกษา ²อาจารย์ ³ศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เราได้ศึกษาและทำการสร้างระบบการเคลือบสุญญากาศขนาดเล็กให้เหมาะกับชิ้นงานขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาสำหรับการเคลือบแต่ละครั้ง ระบบที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วย (1) ปั๊มกลโรตารี 2 จังหวะ เพื่อทำหน้าที่เป็นทั้งปั๊มหยาบ (roughing pump) และ ปั๊มด้านท้าย (backing pump) สำหรับภาชนะสุญญากาศ (chamber) และ (2) ปั๊มแพร่ไอน้ำมัน (diffusion pump) ซึ่งเป็นปั๊มที่สามารถลดความดันให้ต่ำลงจนถึงประมาณ 10^{-7} ทอร์ จากผลการทดลองระบบที่สร้างขึ้นพบว่า ภาชนะสุญญากาศถูกสูบอากาศออกจากความดันบรรยากาศจนถึงความดัน 2.2×10^{-2} ทอร์ ในเวลา 6 นาที ด้วย ปั๊มกลโรตารี และสามารถลดความดันลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 4.5×10^{-5} ทอร์ ในเวลา 30 นาที ด้วย ปั๊มแพร่ไอน้ำมัน นอกจากนี้ระบบยังได้ถูกทดสอบเพื่อทำการเคลือบอะลูมิเนียมซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99.999 % ลงบนแผ่นรองรับซิลิกอนระนาบ 100 ด้วยแหล่งกำเนิดความร้อนชนิดความต้านทานที่ทำจาก ทังสแตน โดยแรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ ประมาณ 2.19 โวลต์ และ 110 แอมแปร์ ตามลำดับ พื้นผิวของอะลูมิเนียมถูกตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM และ AFM

Abstract

In this research, we studied and fabricated a small vacuum coating system which is suitable for small pieces of the samples. It can help us to save in both cost and time for coating materials in each run. The home-built system consists of (1) a two-stage rotary pump used as a roughing and backing pump for a vacuum chamber and (2) a diffusion pump. The ultimate pressure of this diffusion pump is about 10^{-7} torr. From the result of testing the fabricated vacuum system, it is found that the chamber pressure under the atmosphere can get down to 2.2×10^{-2} torr in 6 minutes by the rotary pump. The pressure inside the chamber is continuously lower to achieve 4.5×10^{-5} torr in 30 minutes by the diffusion pump. Moreover, we did further testing the system by coating pure aluminum (99.999%) on a Si (100) substrate using a resistive heater source made of tungsten with applied voltage and current of about 2.19 V and 110 A, respectively. The aluminum surface has been investigated by SEM and AFM.

คำสำคัญ : การเคลือบในสุญญากาศ การระเหยสารด้วยความร้อน ปั๊มแพร่ไอน้ำมัน

Keywords : vacuum coating, thermal evaporation, diffusion pump

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ sorapong_nor@yahoo.com โทร. 0 824 424 149

1. บทนำ

ระบบการเคลือบสาร สำหรับในด้านงานวิจัยและด้านการศึกษา จะมีใช้กันทั้ง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบสปัตเตอร์ริง (Sputtering system) และระบบระเหยสารด้วยความร้อน (Thermal evaporation) ถ้าไม่ได้มีการเคลือบวัสดุที่หลากหลาย แต่เป็นการเคลือบงานด้วยโลหะบางชนิด เช่น อะลูมิเนียม นิกเกิล หรือวัสดุบางชนิด เช่น สารที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก (BiSbTe) จะนิยมใช้ระบบการระเหยสารแบบ thermal evaporation แทนแบบอื่นๆ เนื่องจากราคาถูกประหยัดในหลายๆ ด้าน เช่น สารเคลือบที่สามารถซื้อได้ในปริมาณที่เรากำหนด ซึ่งต่างจากเป่าสารเคลือบแบบสปัตเตอร์ริงที่ต้องจัดหาตามขนาดของหัวเป่าที่สร้างขึ้น 3 นิ้วหรือใหญ่กว่านั้น ราคาค่อนข้างสูง

ในปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องเหล่านี้ ทั้งในด้านงานวิจัยและการศึกษา ส่วนใหญ่จะนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งก็มีหลายบริษัท ที่ขายเครื่องเหล่านี้ สำหรับที่ผลิตขึ้นใช้เองก็จะมีอยู่น้อยมาก เพราะต้องอาศัยความรู้ขั้นสูงและประสบการณ์ของผู้ออกแบบและสร้าง ทำให้ความก้าวหน้าในการพัฒนาระบบสุญญากาศของประเทศยังคงอยู่ในวงจำกัด นอกจากนี้ระบบเหล่านี้ยังคงมีราคาแพง บางหน่วยงานก็ยังไม่เข้าใจถึงความสามารถในการใช้เครื่องได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การจัดหาซื้อเครื่องเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีขนาดมาตรฐาน บางครั้งก็ใหญ่เกินความจำเป็น

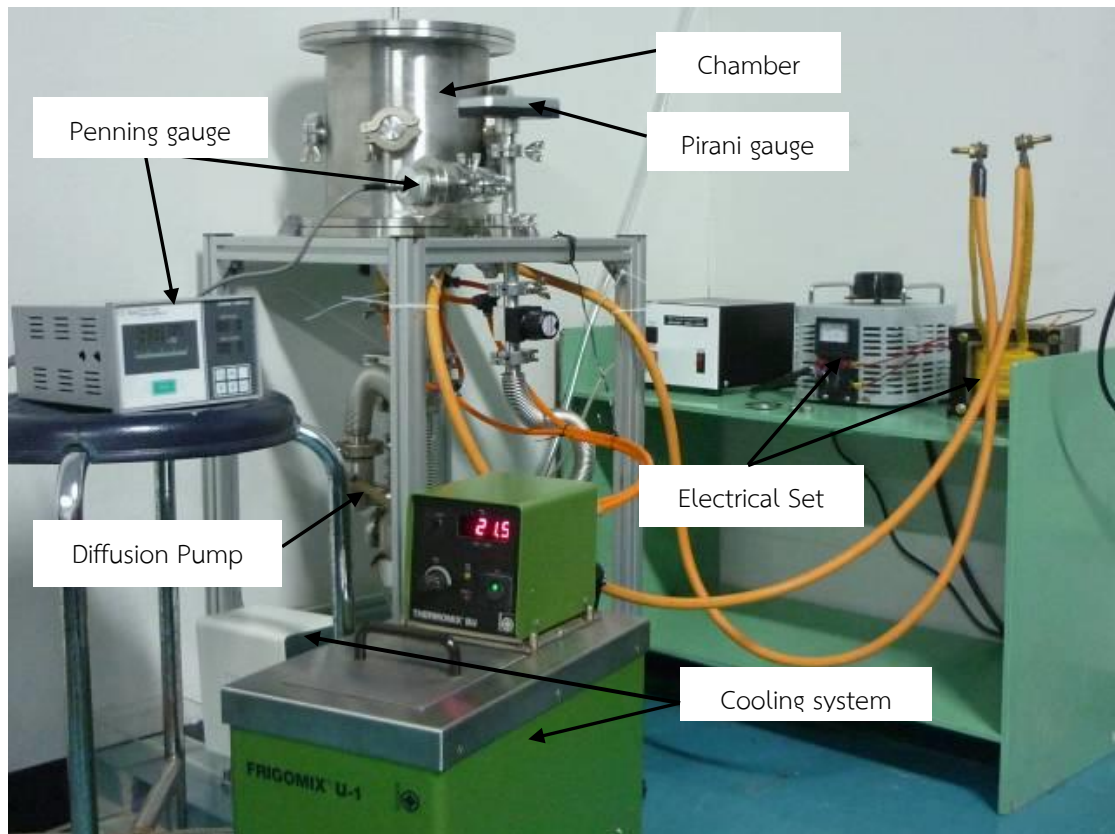
ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พยายามศึกษาและสร้างระบบการเคลือบแบบระเหยสารที่มีขนาดเล็กเหมาะกับงานวิจัยและเพื่อการศึกษาในเรื่องระบบสุญญากาศ โดยระบบจะประกอบด้วยหลายๆ ส่วนซึ่งถูกจัดหาในราคาที่ประหยัด แต่มีศักยภาพการทำงานเป็นที่น่าพอใจ ระบบที่สร้างขึ้นมานี้ จะประกอบไปด้วยภาชนะสุญญากาศ (Chamber) ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) ระบบปั๊มสุญญากาศ ได้แก่ ปั๊มกลโรตารีและปั๊มแพรื่อน้ำมัน เกจวัดความดัน (พิรานีและเพนนิ่ง) ขั้วไฟฟ้าที่ใช้มี 2 แบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเคลือบโลหะ ระบบที่สร้างขึ้นนี้ถูกควบคุมแบบ Manual

ระบบที่ทำการสร้างเสร็จแล้ว ได้ถูกทดสอบโดยการเคลือบอะลูมิเนียมซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99.999 % ลงบนแผ่นรองรับซิลิกอนระนาบ 100 และกระจกสไลด์ ด้วยแหล่งกำเนิดความร้อนชนิดความต้านทานที่ทำจากทั้งสแตนเลสและนำพื้นผิวของอะลูมิเนียมไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM และ AFM

2. วิธีการทดลอง

2.1 การสร้างระบบสุญญากาศ

เนื่องจากระบบที่สร้างขึ้นได้คำนึงถึงระบบขนาดเล็ก ประหยัด และค่าความดันที่สัมพันธ์กับเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นในเบื้องต้นจึงได้เลือกระบบปั๊มที่ต้องการใช้เป็นอันดับแรก ในระบบที่สร้างขึ้นจะใช้ปั๊มกลโรตารีที่มีอัตราการสูบ 120 ลิตรต่อวินาที ทำหน้าที่เป็นทั้งปั๊มหยาบ (Roughing pump) และปั๊มด้านท้าย (Backing pump) เพื่อให้ระบบมีความเป็นสุญญากาศดีขึ้น จึงได้เลือกใช้ปั๊มแพรื่อน้ำมัน (diffusion pump) ยี่ห้อ Edward รุ่น TVW50 ที่มีอัตราการสูบ 50 ลิตรต่อวินาที จากนั้นทำการกำหนดขนาดของภาชนะสุญญากาศให้เหมาะสม ซึ่งได้จัดทำขึ้นเองเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร สูง 21.5 เซนติเมตร ปริมาตรของ Chamber ประมาณ 8.2×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ทราบความดันของระบบจึงต้องอาศัยเกจวัดความดันสุญญากาศ เกจที่เลือกใช้ ได้แก่ พิรานี ยี่ห้อ Thyracont รุ่น VD85 และเพนนิ่ง ยี่ห้อ Diavac รุ่น C-4 ในส่วนของการเคลือบสารจะต้องมีขั้วไฟฟ้าที่สามารถทนความร้อนและกระแสที่สูงได้ จะมี 2 รุ่นที่ได้ทำการสร้างขึ้น ชนิดแรกเป็นสแตนเลสซึ่งจะห่อหุ้มด้วยท่อควอตซ์และปิดท้ายด้วยโวลต์ไอริง ชนิดที่สองเป็นขั้วทองแดงซึ่งจะมีการระบายความร้อนได้ด้วยน้ำหล่อเย็น โดยระบบสุญญากาศที่สร้างเสร็จแล้ว แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบการเคลื่อนขนาดเล็กภายใต้สุญญากาศสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อน

2.2 การทดสอบระบบสุญญากาศ

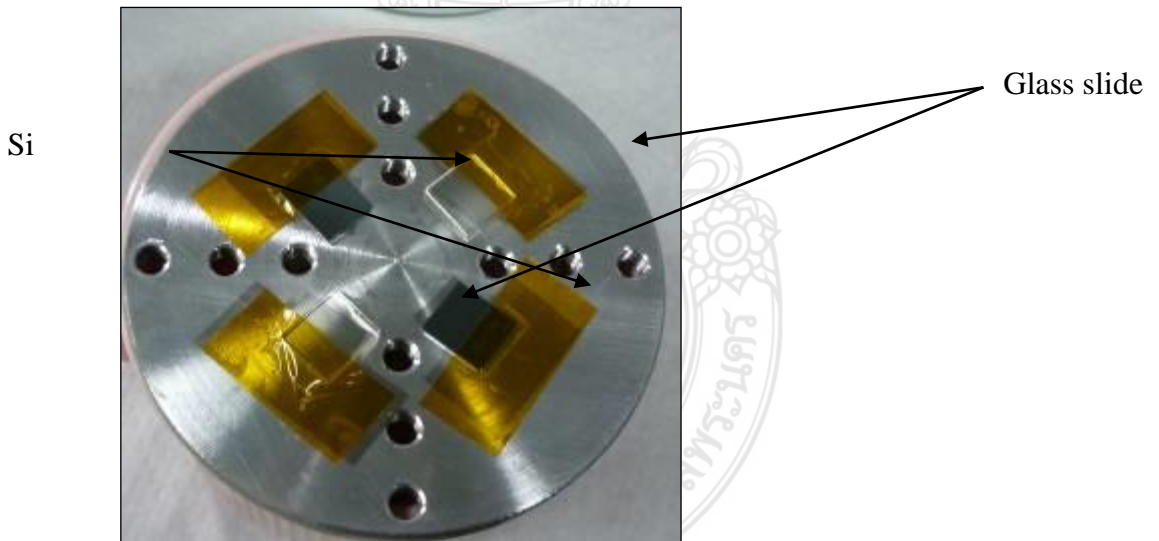
ระบบสุญญากาศที่สร้างเสร็จแล้ว จะต้องทำการทดสอบในหลายๆส่วน เพื่อให้มั่นใจว่าระบบไม่เกิดรอยรั่ว ในเบื้องต้นก่อนที่จะประกอบระบบสุญญากาศเราจะทดสอบประสิทธิภาพปั๊มทั้ง 2 ประเภทก่อนโดยการวัดความดันที่หัวปั๊มแบบโรตารีโดยใช้เกจวัดชนิดพิรานีซึ่งจะทำความดันได้ 1.0×10^{-2} mbar และที่หัวปั๊มแบบแพร็อน้ำมันใช้เกจวัดชนิด Cold Cathode วัดค่าความดันได้ 3.0×10^{-6} ทอร์ ทั้งนี้เพื่อดูประสิทธิภาพสูงสุดของตัวปั๊มเก็บเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบในขั้นต่อไป เราต่ออุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ 1 และทำการทดสอบระบบท่อสุญญากาศต่างๆ โดยทดสอบกับปั๊มกลโรตารี ซึ่งจะต้องปิดวาล์ว Hi-vac เพื่อตัดออกจากภาชนะสุญญากาศและอ่านค่าความดันจากเกจพิรานี ขณะตรวจเช็ค ถ้าค่าความดันไม่แตกต่างกับค่าความดันที่หัวปั๊มกลโรตารี ท่อสุญญากาศและรอยต่อต่างๆ ไม่มีการรั่วซึมในเวลาใกล้เคียงกัน ขั้นต่อไปจะทำการเช็ครอยรั่วเบื้องต้นที่ภาชนะสุญญากาศโดยการเปิดวาล์ว Hi-vac เพื่อสูบลมอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ หากค่าความดันที่วัดได้ไม่ใกล้เคียงกับค่าความดันที่หัวปั๊ม หรือใช้เวลาในการสูบลมนานกว่าปกติ แสดงว่าภาชนะสุญญากาศเกิดรอยรั่ว เพื่อตรวจหารอยรั่วจึงใช้ IPA ฟันในตำแหน่งที่คาดว่ารั่วแล้วดูการเปลี่ยนแปลงความดันที่เพิ่มขึ้น ณ จุดนั้น แสดงว่าเกิดรอยรั่ว จึงต้องดำเนินการเชื่อมใหม่ เมื่อระบบสุญญากาศแก้ไขเบื้องต้นเรียบร้อยแล้ว ต้องทดสอบกับปั๊มกลโรตารีอีกครั้งจนมั่นใจว่าไม่มีรอยรั่ว เสร็จแล้วเราจะทดสอบรอยรั่วเพิ่มเติมโดยต่อเข้ากับปั๊มแพร็อน้ำมันเข้าที่ฐานภาชนะสุญญากาศและทำการสูบลมโดยเริ่มเปิดปั๊มกลโรตารีสูบลมออกจากภาชนะสุญญากาศให้ได้ค่าความดันประมาณ 4×10^{-2} mbar พร้อมกับเปิดปั๊มแพร็อน้ำมัน แล้วปิดวาล์ว Hi-vac ออกจากภาชนะสุญญากาศ และเปิดวาล์วด้านท้ายของปั๊มแพร็อน้ำมัน ขณะเดียวกันรอ

ให้น้ำมันในปั๊มแพร่ไอน้ำมันเดือดซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที เมื่อปั๊มแพร่ไอน้ำมันพร้อมทำงาน ให้ทำการเปิดวาล์ว Hi-vac ใต้ฐานภาชนะสุญญากาศเพื่อให้ปั๊มสูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ หากภาชนะสุญญากาศได้ค่าความดันอยู่ในช่วง 10^{-5} ทอร์ ถือว่าระบบสามารถใช้งานได้ แต่ถ้าสูงกว่าแสดงว่าระบบมีรอยรั่ว ต้องทดสอบโดยใช้ IPA ฉีดพ่น เมื่อทำการแก้ไขระบบเรียบร้อยแล้วทดสอบระบบอีกครั้งจนแน่ใจว่าไม่รั่ว แล้วจึงทดสอบการเคลือบในขั้นต่อไป

2.3 การเคลือบโลหะอะลูมิเนียมบริสุทธิ์

การเคลือบอะลูมิเนียมลงบนกระจกสไลด์ และแผ่นรองรับ Si โดยจะตัดวัสดุข้างต้นให้มีขนาด 1 cm^2 เสร็จแล้วนำชิ้นงานล้างด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อขจัดฝุ่นและคราบไขมัน ยกเว้น Si wafer ล้างออกด้วยน้ำ DI และนำชิ้นงานขจัดอนุภาคเล็กๆ ออกจากผิวด้วยอะซิโตนที่จุ่มในอ่างอัลตราโซนิก 10 นาที แล้วนำไปอัลตราโซนิกต่อด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) อีก 10 นาที และล้างออกด้วยน้ำ DI เสร็จแล้วเป่าด้วยไนโตรเจนให้แห้ง แล้วนำชิ้นงานมาติดกับฐานรองรับดังรูปที่ 2 เสร็จแล้วนำเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยให้ห่างจากเป่าสารเคลือบ 11 เซนติเมตร สูบอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศจนค่าความดันลดต่ำลงประมาณ 10^{-5} ทอร์ จึงเริ่มทำการเคลือบโดยปรับแรงดันไฟฟ้าด้านปฏิกิริยาของหม้อแปลงเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 โวลต์ จนอะลูมิเนียมหลอมละลายและระเหยขึ้นไปเคลือบบนแผ่นรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ และ Si wafer

เสร็จแล้วนำฟิล์มที่ได้ทั้งหมด ไปตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy; AFM) และยืนยันการเกิดฟิล์มด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron Microscopy; SEM)



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งแผ่น Si wafer และกระจกสไลด์ ลงบนฐานแผ่นรองรับก่อนการเคลือบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาด้วยปั๊มกลโรตารี

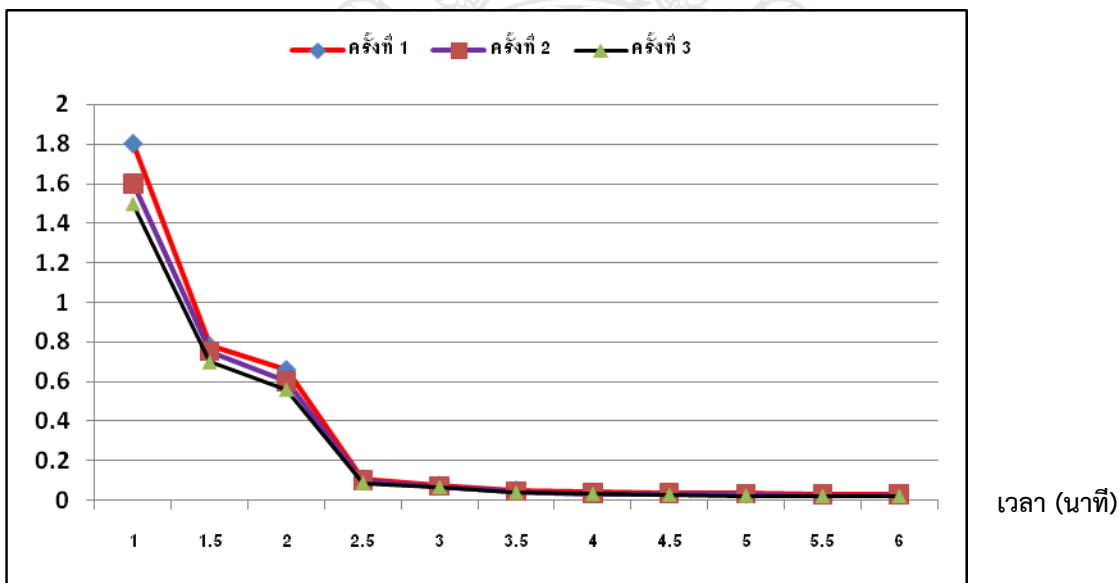
จากการทดสอบระบบเบื้องต้นด้วยปั๊มกลโรตารี พบว่าระบบท่อสุญญากาศ ข้อต่อและวาล์ว Hi-vac ไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้น ถ้ามีการตรวจเช็คการเชื่อมต่ออย่างเหมาะสมจะไม่เกิดปัญหาขึ้น สำหรับการตรวจสอบภาชนะสุญญากาศพบรอยรั่วเกิดขึ้นหลายจุดโดยดูได้จากค่าความดันที่เพิ่มขึ้นขณะทำการฉีดพ่นด้วย IPA ภาชนะสุญญากาศที่สร้างขึ้นจะไม่เน้น view port จำนวนมาก จะมีเพียงแค่ 1 view port กับอีก 2 port ที่มีหน้าแปลนแบบ NW25 ทำให้ง่ายต่อ

การตรวจหารอยรั่ว หลังจากที่ทำกรแก๊สไฮดรอกซ์แล้วได้ดำเนินการเปิดปั๊มกลโรตารีอีกครั้ง ซึ่งจะได้ผลตามตารางที่ 1 ในการทดสอบ 2 ครั้งแรกมีค่าความดันแตกต่างกันไม่มากในแต่ละช่วงเวลา สำหรับการปั๊มในครั้งที่ 3 ค่าความดันลดต่ำลงได้เร็วกว่า 2 ครั้งแรก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการตกค้างของอากาศหรือออกซิเจนที่แทรกอยู่ตามผนังภายในของภาชนะลดน้อยลงมาก จึงทำให้ค่าความดันนั้นต่ำกว่าในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 1 บันทึกค่าความดันกับเวลาในการใช้ปั๊มแบบ Rotary ดูอากาศจากภาชนะสุญญากาศ ครั้งที่ 1-3

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Time (min)	Pressure (mbar)	Pressure (mbar)	Pressure (mbar)
0.5	50	49	49
1.0	1.8	1.6	1.5
1.5	7.8E-01	7.5E-01	7.0E-01
2.0	6.6E-01	6.0E-01	5.6E-01
2.5	1.1E-01	9.8E-02	9.0E-02
3.0	7.8E-02	7.1E-02	6.8E-02
3.5	5.3E-02	4.4E-02	4.0E-02
4.0	4.3E-02	3.5E-02	3.3E-02
4.5	3.9E-02	3.3E-02	2.9E-02
5.0	3.5E-02	3.0E-02	2.5E-02
5.5	3.3E-02	2.8E-02	2.3E-02
6.0	3.1E-02	2.6E-02	2.2E-02

ความดัน (mbar)



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับเวลาของปั๊มกลโรตารี

เมื่อทำการพลอตกราฟดังรูปที่ 3 จะพบลักษณะการลดลงของความดันในช่วง 1 นาทีแรกอย่างรวดเร็วจากระดับความดันบรรยากาศ หลังจากนั้นจะเริ่มค่อยๆลดลงจนถึง 2.2×10^{-2} mbar ซึ่งเป็นค่าความดันที่ยอมรับได้ และพร้อมที่จะเริ่มต้นใช้ปั๊มแพร์ไอน้ำมันต่อไป

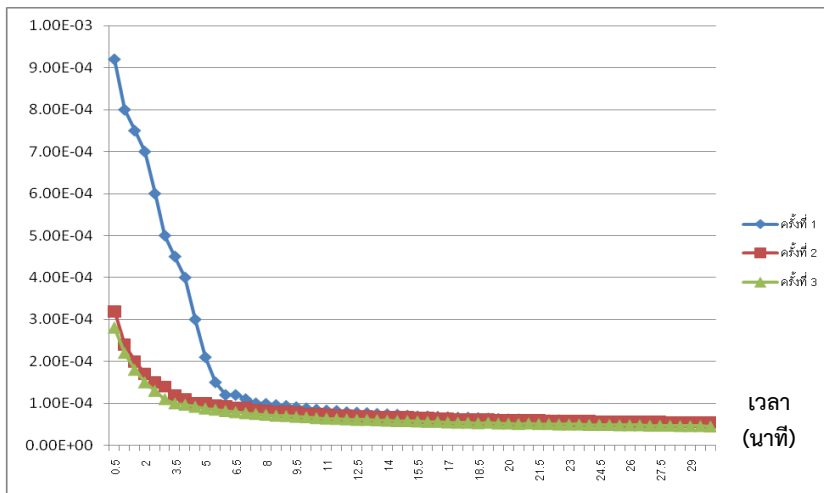
3.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเวลาของปั๊มแพรือน้ำมัน

การทดสอบในขั้นนี้เพื่อให้แน่ใจว่า ระบบสุญญากาศในส่วนต่างๆไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้นที่ความดันต่ำใกล้ 10^{-6} ทอร์ จากผลการทดลองซึ่งต่อเนื่องจากการทดสอบด้วยปั๊มกลโรตารี พบว่าภาชนะยังมีรอยรั่วเกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมต่อที่ฐานของภาชนะสุญญากาศ จึงทำการเชื่อมรอยรั่วใหม่อีกครั้งและทำการทดสอบระบบอีกครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งทำการปั๊มจำนวน 3 ครั้ง การปั๊มจะมีแนวโน้มให้ค่าความดันลดต่ำลงเร็วมากที่สุดในครั้งที่ 3 คือ 4.5×10^{-5} ทอร์ในเวลาเพียง 30 นาที

ตารางที่ 2 บันทึกค่าความดันกับเวลา การใช้ปั๊มแพรือน้ำมันดูดอากาศจากภาชนะสุญญากาศ ครั้งที่ 1-3

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Time (min)	Pressure (Torr)	Pressure (Torr)	Pressure (torr)
1.0	7.00E-04	2.40E-04	2.20E-04
2.0	5.00E-04	1.70E-04	1.50E-04
3.0	4.00E-04	1.40E-04	1.10E-04
4.0	2.10E-04	1.10E-04	9.70E-05
5.0	1.50E-04	1.00E-04	8.80E-05
6.0	1.20E-04	9.30E-05	8.20E-05
7.0	1.00E-04	9.00E-05	7.70E-05
8.0	9.60E-05	8.30E-05	7.30E-05
9.0	9.10E-05	8.00E-05	7.00E-05
10.0	8.50E-05	7.60E-05	6.70E-05
11.0	8.20E-05	7.30E-05	6.40E-05
12.0	7.80E-05	7.10E-05	6.20E-05
13.0	7.50E-05	6.90E-05	6.10E-05
14.0	7.30E-05	6.70E-05	5.90E-05
15.0	6.90E-05	6.70E-05	5.80E-05
16.0	6.80E-05	6.50E-05	5.60E-05
17.0	6.60E-05	6.40E-05	5.50E-05
18.0	6.50E-05	6.30E-05	5.40E-05
19.0	6.30E-05	6.20E-05	5.40E-05
20.0	6.20E-05	6.10E-05	5.20E-05
21.0	6.00E-05	6.00E-05	5.20E-05
22.0	6.00E-05	5.90E-05	5.10E-05
23.0	5.80E-05	5.90E-05	5.00E-05
24.0	5.70E-05	5.80E-05	4.90E-05
25.0	5.70E-05	5.70E-05	4.90E-05
26.0	5.50E-05	5.60E-05	4.80E-05
27.0	5.40E-05	5.60E-05	4.70E-05
28.0	5.40E-05	5.50E-05	4.70E-05
29.0	5.20E-05	5.50E-05	4.60E-05
30.0	5.10E-05	5.40E-05	4.50E-05

ความดัน (torr)



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับเวลาของปั๊มแพร่ไอน้ำมัน

จากตารางที่ 2 เมื่อนำมาพลอตกราฟ ดังรูปที่ 4 จะพบลักษณะการลดลงของค่าความดันในครั้งที่ 1 ต่างจากครั้งที่ 2 และ 3 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผลของอากาศในภาชนะและที่ผนังยังคงมีอยู่มากทำให้ใช้เวลานานกว่าในการสูบอากาศออกเทียบกับ 2 ครั้งหลัง และเป็นการยืนยันผลการสูบอากาศในครั้งที่ 2 และ 3 มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน เพราะการตกค้างของอากาศที่ผนังลดลงไปมากจากการสูบครั้งที่ 1 และระบบมีความเสถียร ถ้ามีการกระเพื่อมของกราฟ แสดงให้ทราบว่าระบบอาจมีรอยรั่วเกิดขึ้น

3.3 ผลการทดสอบการเคลือบอะลูมิเนียมลงบนกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน

เมื่อระบบสุญญากาศพร้อมที่จะเคลือบแล้ว เราได้ทดสอบระบบว่าสามารถใช้งานได้จริง โดยการทดสอบการเคลือบอะลูมิเนียม โดยครั้งแรกจะเคลือบอะลูมิเนียมด้วยขั้วไฟฟ้าแบบแรกดังรูปที่ 5 (a) ซึ่งทำจากสแตนเลสมีท่อควอตซ์ป้องกันการช็อตกับแผ่นฐานของภาชนะสุญญากาศ ดังรูปที่ 5 ใช้กระแส 110 แอมป์ และแรงดันไฟฟ้าปฐมภูมิ 2.19 โวลต์ ดังตารางที่ 3 พบว่าอะลูมิเนียมหลอมละลายและระเหยขึ้นไปเคลือบบนแผ่นรองรับ แต่ใช้เวลาได้ไม่นาน เพราะค่าความดันเพิ่มขึ้นจนถึง 2.7×10^{-4} ทอร์ การเคลือบเริ่มหยุด มีการรั่วซึมเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนสะสมทำให้โอรังที่ใช้ไม่สามารถทนได้ จึงได้ออกแบบขั้วไฟฟ้าที่ทำจากทองแดงและสามารถหล่อเย็นได้ เพื่อเพิ่มศักยภาพการเคลือบได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 5(b)



รูปที่ 5 (a) ขั้วไฟฟ้าทำจากสแตนเลส (b) เป็นขั้วไฟฟ้าใหม่ที่สร้างขึ้นจากทองแดงแบบมีน้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3 แสดงค่าแรงดัน กับ กระแส ขณะเคลือบสารอะลูมิเนียมลงบน Si และกระแสโหลด โดยใช้ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส

แรงดันปรุหมุม (V)	แรงดันทุติยภูมิ (V)	กระแสที่จ่าย (A)
5.2	0.09	3.98
10.3	0.15	7.87
15.0	0.20	11.39
20.7	0.26	15.67
25.3	0.31	18.89
30.0	0.35	21.71
35.0	0.40	24.64
40.1	0.46	28.91
45.6	0.53	33.56
50.0	0.58	37.30
55.8	0.64	40.60
60.5	0.71	42.50
65.0	0.79	46.30
70.0	0.89	50.10
75.0	0.97	54.20
80.5	1.01	60.20
85.5	1.14	66.40
90.5	1.25	69.20
95.5	1.29	79.90
100.5	1.44	83.50
105.7	1.49	87.90
110.0	1.58	90.10
115.0	1.68	93.50
120.0	1.78	99.00
125.0	1.87	100.90
130.0	1.99	102.30
140.0	2.19	109.80

ตารางที่ 4 แสดงค่าแรงดัน กับ กระแส ขณะเคลือบสารอะลูมิเนียมลงบน Si และกระจกสไลด์ ครั้งที่ 1 และ 2 โดยใช้หัวไฟฟ้าทองแดง

แรงดันปฐุมภูมิ (V)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
	กระแสที่จ่าย (A)	กระแสที่จ่าย (A)
5	12	12
10	25	26
15	40	39
20	52	51
25	62	62
30	70	71
35	77	76
40	84	82
45	89	89
50	95	96
55	100	101
60	107	107
65	113	112
70	120	118
75	125	123
80	130	127
85	134	133
90	139	137
95	142	143

จากตารางที่ 4 พบว่าขณะที่ทำการเคลือบ ระบบมีความเสถียร ค่าความดันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในการเคลือบครั้งที่ 1 ใช้เวลาการเคลือบ 5 นาที ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ปฐุมภูมิ 95 โวลต์ และกระแส 142 แอมป์ และในขณะที่ทำการเคลือบครั้งที่ 2 ใช้เวลาการเคลือบ 8 นาที ค่าแรงดันไฟฟ้าปฐุมภูมิ 95 โวลต์และกระแส 143 แอมป์ ทั้ง 2 ครั้งอะลูมิเนียมเริ่มหลอมละลายที่แรงดันประมาณ 75 โวลต์ ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงการหลอมละลายและระเหยสารตกเคลือบลงบนแผ่นรองรับทั้งสองชนิด ซึ่งได้ผลการเคลือบดังรูปที่ 7

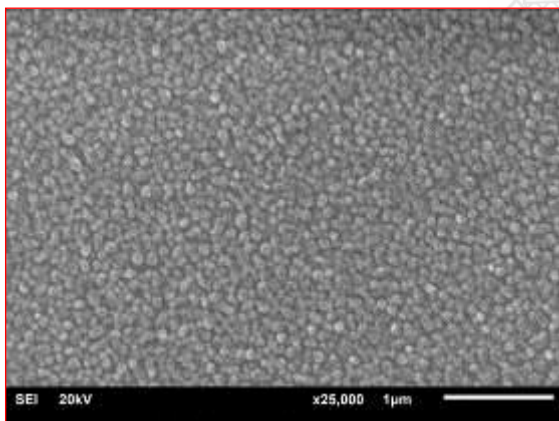


รูปที่ 6 ภาพขณะเคลือบสารอะลูมิเนียมที่หลอมเหลว

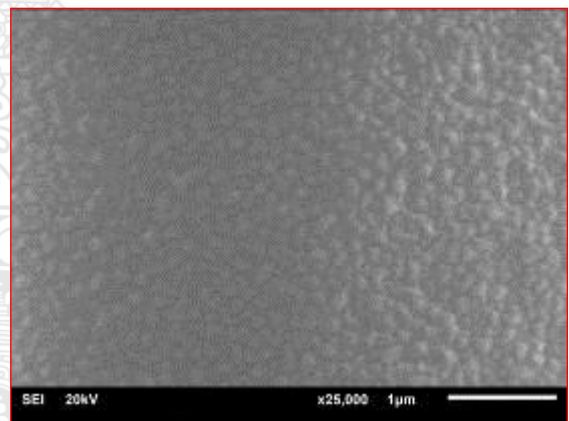
ชั้นงานชุดที่ 1		ชั้นงานชุดที่ 2	
Si wafer I	Glass slide I	Si wafer II	Glass slide II
			

รูปที่ 7 การเคลือบอะลูมิเนียมลงบน Si wafer และ กระจกสไลด์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2

จากรูปที่ 7 ชั้นงานทั้ง 2 ชุดมีความแวววาวผิวเรียบ ซึ่งเป็นสีของสารเคลือบไม่ปรากฏสภาพหมองคล้ำของฟิล์มบางจากโลหะ และยึดเกาะได้ดีกับแผ่นรองรับทั้ง 2 ชนิด เมื่อทำการเช็ดดูด้วยนิ้วมือหรือชุดด้วยเล็บ พบว่าไม่สามารถทำให้ฟิล์มหลุดได้ นอกจากนั้นยังทำการตรวจสอบด้วย SEM และ AFM เพื่อดูสภาพพื้นผิวและความเรียบของฟิล์มบาง

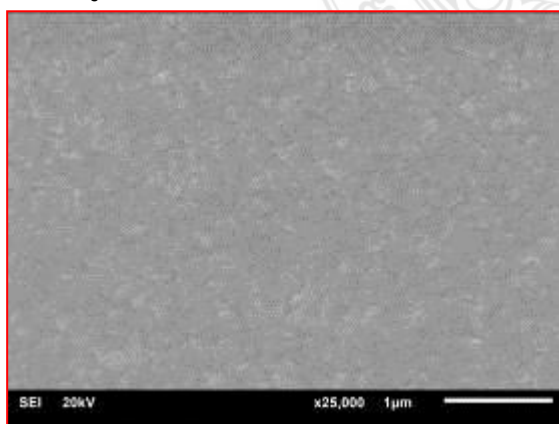


(a)

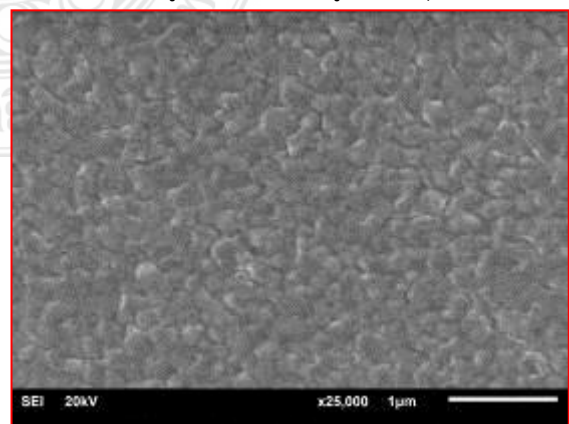


(b)

รูปที่ 8 ภาพ SEM ของชั้นงาน Si wafer (a) และกระจกสไลด์ (b) ที่ถูกเคลือบด้วยอะลูมิเนียม ชุดที่ 1



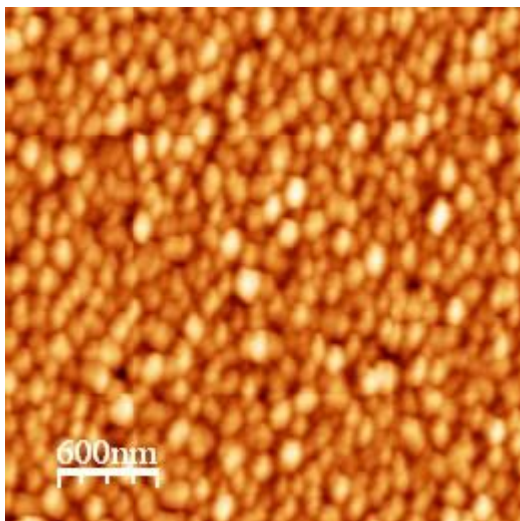
(a)



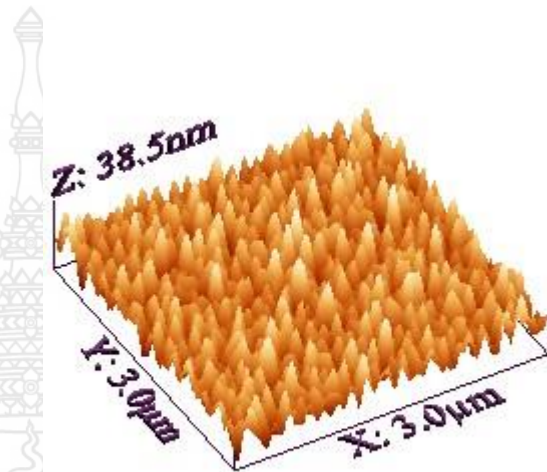
(b)

รูปที่ 9 ภาพ SEM ของชั้นงาน Si wafer (a) และกระจกสไลด์ (b) ที่ถูกเคลือบด้วยอะลูมิเนียม ชุดที่ 2

จากรูปที่ 8 และ 9 เป็นผลของการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจากชั้นงานชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รูปที่ 8 (a) เป็นภาพฟิล์มบางบน Si ซึ่งมีความบาง สังเกตได้จากความไม่ต่อเนื่องของเนื้อฟิล์มมี island size ที่ผิวโดยทั่วไป ขณะที่รูปที่ 8 (b) จะมีลักษณะคล้ายคลึงรูปที่ 8 (a) แต่ลักษณะการเกิดฟิล์มที่ผิวจะมี island size เล็กใหญ่แตกต่างกันพอสมควร อาจเป็นผลจากผิวหน้าที่ไม่เรียบของกระจกสไลด์ สำหรับรูปที่ 9 จะพบว่ามีลักษณะของขอบเกรนชัดเจน เนื่องจากฟิล์มที่หนามากกว่ามีความเป็นชั้นฟิล์มที่ต่อเนื่องทั้งรูป (a) และ (b) ไม่แตกต่างกันมากนัก

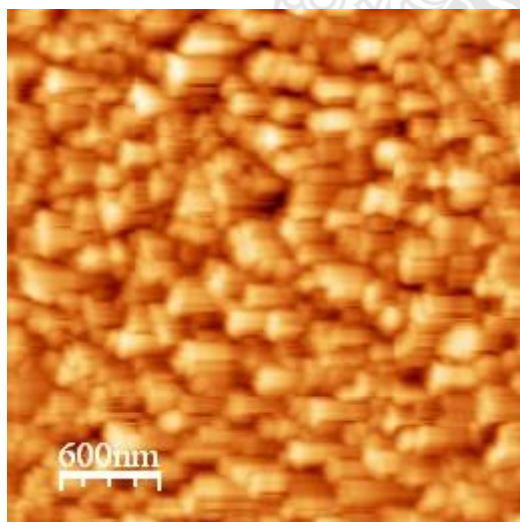


(a)

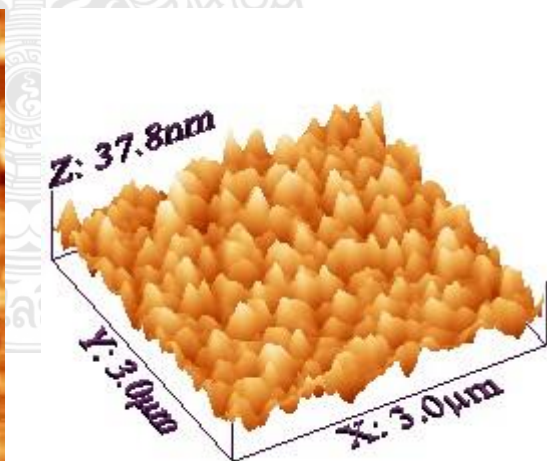


(b)

รูปที่ 10 ภาพ AFM ของชั้นงาน Si ที่ถูกเคลือบด้วยอะลูมิเนียม ชุดที่ 1



(a)



(b)

รูปที่ 11 ภาพ AFM ของชั้นงาน Si ที่ถูกเคลือบด้วยอะลูมิเนียม ชุดที่ 2

จากรูปที่ 10 และ 11 เป็นผลของการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมจากชั้นงานชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รูปที่ 10 (a) จะเห็น island size ได้ชัดเจนสอดคล้องกับรูปที่ 8 (a) แต่แตกต่างจากรูปที่ 11(a) ซึ่งมี island size

ที่ใหญ่กว่า ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากภาพ 3 มิติดังรูปที่ 10(b) และ 11(b) อะลูมิเนียมฟิล์มที่ได้จากรูปที่ 10 และ 11 ทำให้ทราบค่า roughness มีค่าเท่ากับ 5 nm และ 5.36 nm ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความเรียบเป็นอย่างมาก

4. สรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการสร้างระบบการเคลือบขนาดเล็กภายใต้สุญญากาศสำหรับการระเหยสารด้วยความร้อน ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นสามารถลดความดันของภาชนะสุญญากาศได้ 4.5×10^{-5} ทอร์ ในเวลา 30 นาที และได้ทำการทดสอบการเคลือบอะลูมิเนียมลงบน Si wafer และกระจกสไลด์ โดยใช้กระแสในการเคลือบประมาณ 142 แอมป์ ที่แรงดันปฐมภูมิ 95 โวลต์ สำหรับขั้วที่ทำจากทองแดงและสามารถใช้น้ำหล่อเย็นช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้น ทำให้ระบบมีความเสถียรในขณะเคลือบ ผลที่ได้จากการเคลือบ อะลูมิเนียมเกาะตัวบนชิ้นงาน Si wafer และกระจกสไลด์ ได้ดีไม่มีการหลุดลอกและมีความแวววาว สม่ำเสมอ และได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบด้วย SEM และ AFM พบว่าอะลูมิเนียมฟิล์มของชิ้นงานชุดที่ 2 มีขอบเกรนที่ชัดขึ้นและใหญ่กว่าชุดที่ 1 กรณีฟิล์มมีความหนาเกิน สำหรับค่า roughness ของฟิล์มบาง จากชิ้นงาน Si ทั้ง 2 มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยชิ้นที่ 1 คือ 5 nm และชิ้นที่ 2 คือ 5.36 nm

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทนุวิจัยจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นทำและประสบความสำเร็จในที่สุด

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์บางอย่างและแนะนำเทคนิคบางประการ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- ชัยวิทย์ ศิลาวชิชาโนย. 2525. **ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ**. ครั้งที่ 1 ชาติใหญ่: ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- โซ สาสีฉัน และคณะ. 2535. **การออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสารในสุญญากาศ**. กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ ประสานมิตร
- Varian vacuum products. 2530. **Basic Vacuum Practice**. Third Edition, United States of America
- ภาควิชาฟิสิกส์ 2529 **เทคโนโลยีสุญญากาศในงานวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม**: หน้า 14-126
- Mahan, John E. 2000. **Physical Vapor Deposition of Thin Films**. United States of America
- Rointan F Bunshah. 1993. **Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings**. Second Edition, United States of America
- C.Paksunchai, S. Denchitcharoen, S.Chaiyakun, P. Limsuwan, 2012. **Effect of Sputtering Current on Structure and Morphology of (Ti_{1-x}Cr_x)N Thin Films Deposited by Reactive Unbalanced Magnetron Co-sputtering**. Procedia Engineering, Vol.32: Pages 875-881
- C.Chantharangsi, S. Denchitcharoen, S.Chaiyakun, P. Limsuwan. 2012. **Structure and Surface Morphology of Cr-Zr-N Thin Fillms Deposited by Reactive DC Magnetron Sputtering**. Procedia Engineering, Vol.32: Pages 868-874
- M. F. Silva. 2013. **Thin Films for Thermoelectric Applications**. NanoScience and Technology, Pages 485-528
- http://www.leybold.com.cn/products_en.asp