การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาฟิล์มลอกในการเคลือบผิวฟิล์มบางแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

A Study of Factors Affecting to the Film Peeling Problem in Silicon Wafer Coating by Using Design of Experiment Technique

ยรรยง ศรีสวัสดิ์[1] กิติพงค์ มะโน[2] และวิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์[3]
Yanyong Srisawat[1], Kittipong Mano[2] and Wisut Suntornkanokpong[2]
[1]นักศึกษาหลักสูตร คอม. (สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2,3]รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาสาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
s.yanyong13@gmail.com, kmkitipo@kmitl.ac.th, and kawisuit@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ 3 ปัจจัย (อุณหภูมิของชิ้นงาน ความดันสุญญากาศ อัตราการระเหยของสารเคลือบ) ที่ส่งผลต่อการลอกของฟิล์มบางในกระบวนการเคลือบแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง การออกแบบการทดลองเชิงแฟคตอเรียลแบบเต็มรูป 2^3 ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาอัตราการลอกของฟิล์มบาง ในการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างการทดลองครั้งละ 2 ชิ้นรวมทั้งสิ้น 32 ชิ้น และมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จากนั้นทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มโดยการกรีดผิวฟิล์มเป็นตาราง ใช้เทปกาวใสปิดทับบริเวณที่กรีดแล้วดึงขึ้นเพื่อประเมินอัตราการลอกของฟิล์มบาง จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอกที่ระดับนัยสำคัญ 95% (α = 0.05) ได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงานกับแรงดันสุญญากาศ และอันตรกิริยาสามปัจจัยหลัก (อุณหภูมิชิ้นงาน แรงดันสุญญากาศ และ อัตราการระเหยสาร)

คำสำคัญ: แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ การเคลือบผิว ฟิล์มบาง ฟิล์มลอก การออกแบบการทดลอง

Abstract

This paper aims to study the effect of 3 factors (substrate temperature, the vacuum pressure, the evaporation rate of the coating) that effect the peeling of the thin films in the coated silicon wafer process in case study factory. The designing of 2^3 full factorial experiments were used to study the rate of peeling of the film, with will test two samples for each experiment, a total of 32 samples, and the experiment were repeated two times. By testing the adhesion of the film with film surface is cut square. Then, using transparent adhesive tape around the cut and pull those to assess the rate of the peeling of thin films. The result showed that the main factor effecting the film peeling at significant 95% (α = 0.05) were the substrate temperature, the interaction between substrate temperature and vacuum pressure and the interaction of three main factors (substrate temperature, vacuum pressure, and the rate of evaporation)

Keywords : Silicon wafer; coating, Thin Film; Peeling; Design of Experiment Technique

1. บทนำ

"การเคลือบผิวฟิล์มบาง" หรือ "โค้ทติ้ง" คือคำศัพท์รวมๆที่เรียกวัสดุที่ใช้ปกปิดพื้นผิวงานที่ต้องการจะปกป้องจากสภาวะการใช้งาน การกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมจากธรรมชาติ ฯลฯ [1] ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีฟิล์มบางถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กโทรนิกส์ เช่น เลนส์ (Optics) แม่เหล็ก(Magnetic) เคลือบต้านทานการการกัดกร่อน(Corrosion Resistant Coatings) ไมโคร-กลศาสตร์ (Micro-mechanics) รวมทั้งยังมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรม การผลิตสารกึ่งตัวนำ [2] อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีศักยภาพสูงและสามารถพัฒนาให้ก้าวไปสู่ความเป็นเลิศในภูมิภาคทั้งการผลิต การส่งออก การลงทุนและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมนี้นับได้ว่ามีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงค่อนข้างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นคือมูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มสูงขึ้น [3] ดังจะเห็นได้จากมีการศึกษาเลนส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำและเคลือบด้วยสารที่มีสมบัติการส่งผ่านของแสงที่เหมาะสมซึ่งปัจจุบันนิยมใช้การเคลือบในสุญญากาศ (Vacuum coating) ด้วยเทคนิคระเหยสาร (Evaporation) เป็นการเคลือบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการส่งผ่านแสง จะสามารถเพิ่มคุณสมบัติของการส่งผ่านแสงได้มากถึงกว่า 96% [4]

สำหรับเทคนิคการเคลือบด้วยการระเหยของแข็งและทำการระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน(Electron Beam Evaporation) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในงานศึกษาวิจัยนี้ คือเป็นกระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลจากแหล่งกำเนิดความร้อนระเหยไปยังฐานรองรับโดยปราศจากการชนกับโมเลกุลของก๊าซที่ตกค้าง (Residual gas) ภายในห้องเคลือบ (Deposition Chamber) สารเคลือบหลุดออกมาในรูปของไอฟุ้งกระจายไปจับตัวและควบแน่นเป็นชั้นบางๆ ของสารเคลือบบนผิวหน้าของชิ้นงาน [5] ปัจจัยสำคัญในการเคลือบฟิล์มบางคือ อุณหภูมิของฐานรองรับ อัตราความเร็วของการเคลือบ(Deposition rate) สภาวะแวดล้อมของสุญญากาศเช่น ความดัน (Pressure) ชนิดของก๊าซ (Gas species) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกเฝ้าระวังและควบคุม [5]

จากการรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานเคลือบผิวฟิล์มบางในกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรมทางภาคตะวันออกพบว่า ประเภทของงานเสีย (Defect) ที่เกิดขึ้นมีหลายประเภท โดยปัญหาฟิล์มลอกเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วมีความเสียหายมากที่สุดคิดเป็น 100 % ของความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทั้งนี้ปัญหาฟิล์มลอกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตการเคลือบผิวเกิดขึ้นได้จากหลายๆปัจจัย

จากข้อมูลและปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการยึดติดของผิวฟิล์มในการเคลือบผิวฟิล์มบางแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์สำหรับอุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลอกของฟิล์ม ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้มาใช้ประโยชน์สำหรับปรับปรุงและพัฒนางานทางด้านการเคลือบผิวฟิล์มบางด้านอื่นๆ และนำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทางด้านอื่นๆได้ในอนาคต อีกต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบจาก 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟิล์มลอกในการผลิตเลนส์จากสารกึ่งตัวนำ ในกระบวนการเคลือบผิวฟิล์มบางแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์

3. สมมติฐานการวิจัย

อุณหภูมิของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ แรงดันสุญญากาศ และอัตราระเหยของสาร มีผลกระทบต่อการเกิดปัญหาฟิล์มลอกอย่างมีนัยสำคัญ

4. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกในการเคลือบผิวฟิล์มบางแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์โดยการประยุกต์ใช้แนวความคิดการออกแบบการทดลองของประไพศรี และพงศ์ชนัน [6] มาใช้ในการวิจัยดังนี้

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไข
2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต
3. เลือกตัวแปรตอบสนอง
4. เลือกแบบแผนการทดลอง
5. ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
6. การวิเคราะห์ทางสถิติ
7. การสรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

5. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เกี่ยวข้องเฉพาะกระบวนการเคลือบผิวฟิล์มบางของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ ในสุญญากาศด้วยวิธีระเหยสารของโรงงานตัวอย่างกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ(Design of Experiment) จากโปรแกรมสำเร็จรูปเท่านั้น

5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ขนาด 6 นิ้ว จำนวณ 32 ชิ้น จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป ชนิด 2^3 แฟคทอเรียล และมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยแต่ละการทดลองจะใช้จำนวนการทดลองครั้งละ 2 ชิ้น

5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ คือ อุณหภูมิชิ้นงาน แรงดันสุญญากาศ และอัตราระเหยของสาร

ตัวแปรตาม คือ ผลการทดสอบการยึดติดของของฟิล์มบางจากการกรีดผิวฟิล์มด้วยหัวเพชรเป็นตาราง และใช้เทปกาวใสปิดทับบริเวณที่กรีดแล้วดึง

6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร) มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2
2. เครื่องเคลือบระบบสุญญากาศด้วยวิธีระเหยสาร (Evaporation) ซึ่งมีห้องเคลือบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1300 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3
3. เทปใสเบอร์ 604 ของบริษัท 3M
4. แบบบันทึกผลทดสอบการยึดติดของฟิล์มบาง (Durability test record)

รูปที่ 2 แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ ที่ใช้ในการวิจัย

รูปที่ 3 เครื่องเคลือบระบบสุญญากาศด้วยวิธีระเหยสารที่ใช้ในงานวิจัย

7. การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

7.1 การออกแบบการทดลอง การออกแบบการทดลองในการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์เชิงสถิติ และสามารถทำนายผลการทดลองได้ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา

7.2 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นปัจจัยที่กำหนดให้มีการควบคุมในขั้นตอนการเคลือบมีทั้งหมด 3 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิชิ้นงาน (Substrate temperature) คืออุณหภูมิภายในห้องเคลือบสำหรับอบเพื่อให้ความร้อนกับแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ที่จะเคลือบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ระดับการทดลองที่ 1 คือ 80 องศาเซลเซียส
ระดับการทดลองที่ 2 คือ 160 องศาเซลเซียส

ปัจจัยที่ 2 แรงดันสุญญากาศ (Vacuum pressure) คือ สภาวะสุญญากาศภายในห้องเคลือบที่ใช้ทำการเคลือบ มีหน่วยเป็น ทอร์”

ระดับการทดลองที่ 1 คือ 2.7×10^{-5} ทอร์
ระดับการทดลองที่ 2 คือ 2.0×10^{-5} ทอร์

ปัจจัยที่ 3 อัตราระเหยของสาร (Coating rate) คือ ความเร็วของสารเคลือบจากเบ้าหลอมลอยไปติดที่ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์มีหน่วยเป็นอังสตรอมต่อวินาที (Å/sec)

ระดับการทดลองที่ 1 คือ 10 อังสตรอมต่อวินาที
ระดับการทดลองที่ 2 คือ 30 อังสตรอมต่อวินาที

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองจากการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab

Factor	Low level	High level	Unit
A: อุณหภูมิชิ้นงาน	80	160	° C
B: แรงดันสุญญากาศ	2.7×10^{-5}	2.0×10^{-5}	Torr
C: อัตราระเหยสาร	10	30	Å/sec

จากตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการทดลองของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน แรงดันสุญญากาศ และอัตราระเหยของสาร ซึ่งแต่ละเงื่อนไขจะมี 2 ระดับคือ อุณหภูมิชิ้นงาน 80 และ160 องศาเซลเซียส แรงดันสุญญากาศ ที่ 2.7×10^{-5} และ 2.0×10^{-5} ทอร์ และ อัตราระเหยสาร 10 และ 30 อังสตรอมต่อวินาที

ซึ่งจากการใช้โปรแกรมมินิเทปออกแบบการทดลอง ทำให้ได้ลำดับการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการออกแบบการทดลองจากโปรแกรม Minitab

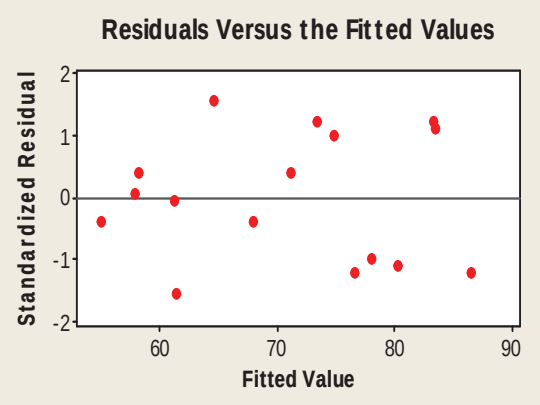
Std. order	Run order	Pt Type	Blocks	อุณหภูมิชิ้นงาน	แรงดันสุญญากาศ	อัตราระเหยสาร
16	1	1	2	160	$2.7x10^{-5}$	30
9	2	1	2	80	$2.0x10^{-5}$	10
15	3	1	2	160	$2.7x10^{-5}$	10
13	4	1	2	160	$2.0x10^{-5}$	10
10	5	1	2	80	$2.0x10^{-5}$	30
11	6	1	2	80	$2.7x10^{-5}$	10
14	7	1	2	160	$2.0x10^{-5}$	30
12	8	1	2	80	$2.7x10^{-5}$	30
2	9	1	1	80	$2.0x10^{-5}$	30
7	10	1	1	160	$2.7x10^{-5}$	10
3	11	1	1	80	$2.7x10^{-5}$	10
6	12	1	1	160	$2.0x10^{-5}$	10
8	13	1	1	160	$2.7x10^{-5}$	30
1	14	1	1	80	$2.0x10^{-5}$	10
4	15	1	1	80	$2.7x10^{-5}$	30
6	16	1	1	160	$2.0x10^{-5}$	30

จากตารางที่ 2 เป็นผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูป และมีการทดลองซ้ำ 2 ครั้งพบว่าจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยสุ่มลำดับการทดลอง โดยจะแบ่งออกเป็น 2 วัน เพื่อตัดปัจจัยต่างๆให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากนั้นทำการทดลองจริงตามที่โปรแกรมได้ทำการออกแบบการทดลอง

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

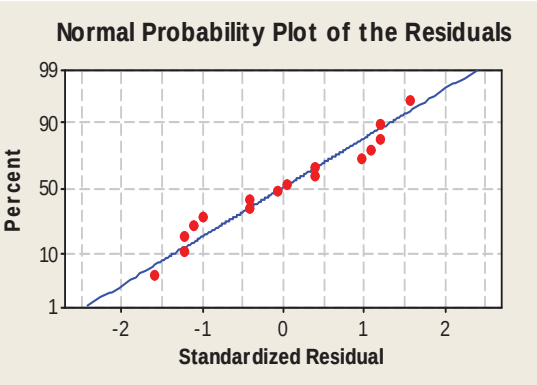
การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของปัจจัย

การวิจัยครั้งนี้ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดการวิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น95% โดยอ้างอิงรูปแบบการวิเคราะห์ ตามหลักการแฟคทอเรียลเต็มรูปเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบข้อสมมติสำหรับการใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดดังรูปที่ 4 และ 5



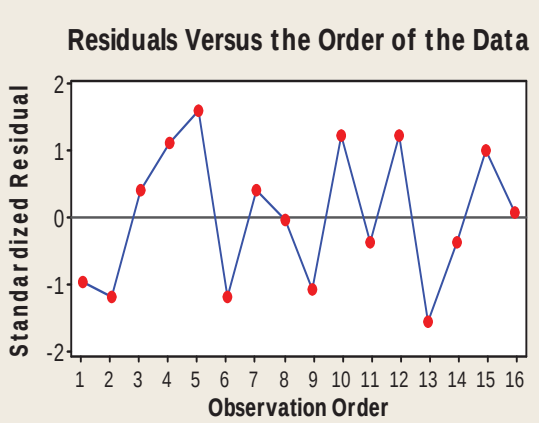
รูปที่ 4 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของทั้ง 3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 4 เป็นกราฟการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิการกระจาย เพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระแสดงความสัมพันธ์ ของค่าผิดพลาดและค่าเฉลี่ยของจำนวนพื้นที่การหลุดลอกของฟิล์ม พบว่าค่าความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์



รูปที่ 5 กราฟแสดงการกระจายข้อมูลแบบแจกแจงปกติ

รูปที่ 5 เป็นกราฟที่แสดงถึงความเสถียรของความแปรปรวน โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ระดับปัจจัยพบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลอง

รูปที่ 6 เป็นกราฟที่แสดงถึงส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ พิจารณารูปที่ 4 และ 5 พบว่าค่าความผิดพลาดหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Experiment Error or Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ดังรูปที่ 4 และมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independently Distributed) ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance) ดังรูปที่ 5 ซึ่งถูกต้องตรงตามข้อสมมุติดังนั้นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในตารางที่ 3 สามารถใช้ได้

ตารางที่ 3 ตารางแสดงวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	DF	SS	MS	F	P
Block	1	42.25	42.25	4.01	0.085
อุณหภูมิชิ้นงาน	1	1225	1225	116.27	0.000 *
ระดับสุญญากาศ	1	56.25	56.25	5.34	0.054
อัตราระเหยสาร	1	16.00	16.00	1.52	0.258
อุณหภูมิชิ้นงาน*ระดับสุญญากาศ	1	81.00	81.00	7.69	0.028 *
อุณหภูมิชิ้นงาน*อัตราระเหยสาร	1	0.25	0.25	0.02	0.882
ระดับสุญญากาศ*อัตราระเหยสาร	1	9	9	0.85	0.368
อุณหภูมิชิ้นงาน*ระดับสุญญากาศ* อัตราระเหยสาร	1	156.25	156.25	14.83	0.006 *
Error	7	73.75	10.54		
Total	15				

S=3.24588 R-sq=95.56% R-sq(adj) =90.48%

หมายเหตุ * มีนัยสำคัญที่สำคัญ 0.05

กำหนดการวิเคราะห์ผลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่านัยสำคัญ (α) = 0.05 โดยอ้างอิงรูปแบบการวิเคราะห์ตามหลักการแฟลทอเรียลเต็มรูป

สมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยร่วม

H_0: ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

H_1: ปัจจัยร่วมมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ P-value = 0.028 < (α) ปฏิเสธสมมุติฐานหลักดังนั้นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิของชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

สมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยร่วม

H_0: ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

H_1: ปัจจัยร่วมมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

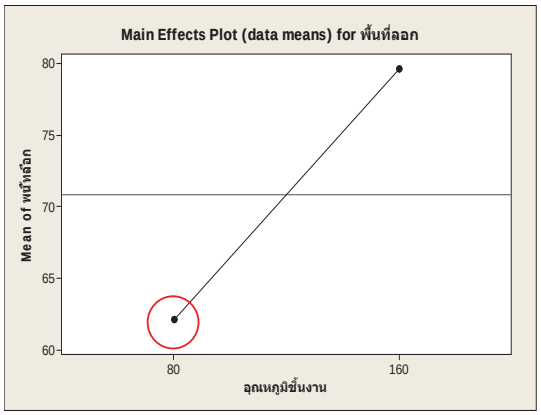
อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของชิ้นงาน * แรงดันสุญญากาศ * อัตราระเหยของสาร P-value = 0.006 < (α) ปฏิเสธสมมุติฐานหลักดังนั้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมอุณหภูมิของชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ*อัตราระเหยของสารมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

สมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยหลัก

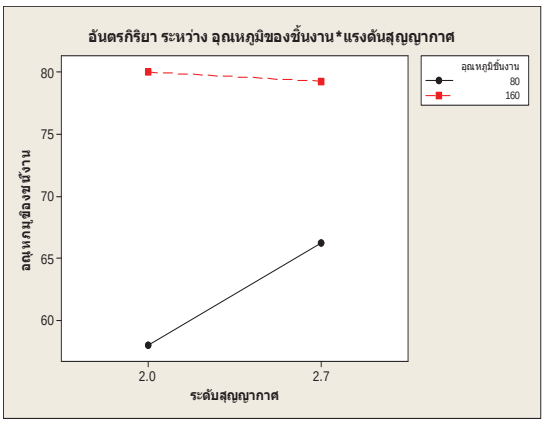
H_0: ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

H_1: ปัจจัยหลักมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก

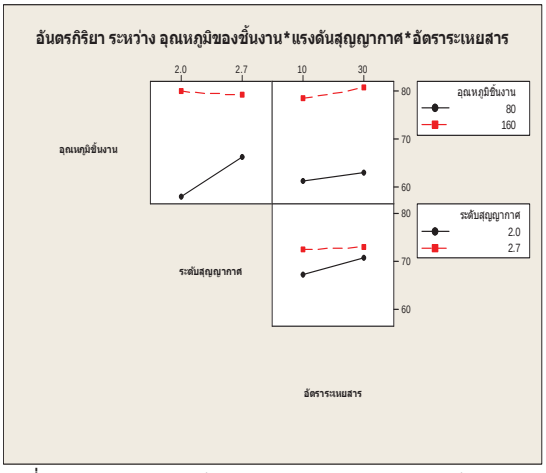
อุณหภูมิของชิ้นงาน P-value = 0.000 < (α) ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ดังนั้นปัจจัยร่วมอุณหภูมิของแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอก



รูปที่ 8 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัย อุณหภูมิของชิ้นงาน



รูปที่ 9 กราฟผลกระทบอันตรกิริยา (Interaction) อิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย ระหว่าง อุณหภูมิของชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ



รูปที่ 10 กราฟผลกระทบอันตรกิริยา (Interaction) อิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัยระหว่าง อุณหภูมิของชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ*อัตราระเหยสาร

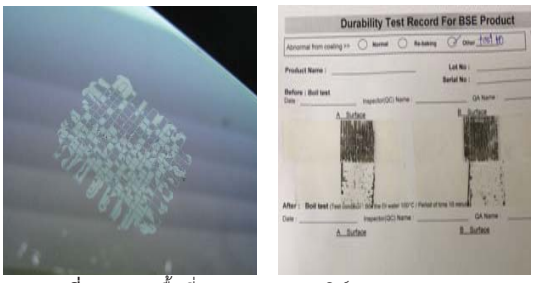
9. ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab จากตารางที่ 3 พบว่า ปัจจัยหลัก(Main effect) ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฟิล์มลอกมี 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน อิทธิพลร่วมของสองปัจจัยระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงาน*ระดับสุญญากาศ และอิทธิพลร่วมของสามปัจจัยระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงาน*ระดับสุญญากาศ* อัตราระเหยสาร ที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลสรุปปรากฏตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบการยึดเกาะของฟิล์ม โดยพิจารณาการหลุดลอกของฟิล์ม (ตารางมิลลิเมตร)

การหลุดลอกของฟิล์ม (เปอร์เซ็นต์)				
เงื่อนไขทดลอง	อุณหภูมิ	แรงดันสุญญากาศ	อัตราระเหย	% ฟิล์มลอก
1	160	$2.7x10^{-5}$	30	72
2	80	$2.0x10^{-5}$	10	61
3	160	$2.7x10^{-5}$	10	84
4	160	$2.0x10^{-5}$	10	59
5	80	$2.0x10^{-5}$	30	86
6	80	$2.7x10^{-5}$	10	76
7	160	$2.0x10^{-5}$	30	68
8	80	$2.7x10^{-5}$	30	74
9	80	$2.0x10^{-5}$	30	78
10	160	$2.7x10^{-5}$	10	58
11	80	$2.7x10^{-5}$	10	77
12	160	$2.0x10^{-5}$	10	86
13	160	$2.7x10^{-5}$	30	76
14	80	$2.0x10^{-5}$	10	54
15	80	$2.7x10^{-5}$	30	67
16	160	$2.0x10^{-5}$	30	58

จากตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบการยึดเกาะของฟิล์มในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยการใช้หัวเพชรกรีดผิวฟิล์มเป็นตาราง แล้วใช้เทปกาวใสปิดทับบริเวณที่กรีดแล้วดึงขึ้นเพื่อวัดพื้นที่การหลุดลอกของฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 11 จากนั้นนำผลลัพธ์มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 11 แสดงพื้นที่การหลุดลอกของฟิล์มจากผลการทดลอง

10. สรุปผลการวิจัย

ลักษณะปัญหาฟิล์มลอกที่พบในกระบวนการเคลือบแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งปัจจัยที่พิจารณาในการทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิชิ้นงาน ความดันสุญญากาศ อัตราการระเหยของสารเคลือบ โดยใช้การทดลอง 2^4 แฟคทอเรียลเต็มรูป มีการทำซ้ำ 2 รอบ นำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์โดยอ้างอิงรูปแบบการวิเคราะห์ตามหลักการแฟคทอเรียลเต็มรูปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฟิล์มลอกมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยที่ 1: ปัจจัยด้านอุณหภูมิชิ้นงานซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหางานลอกอย่ามีนัยสำคัญที่ระดับ 0.000

ปัจจัยที่ 2: อันตรกิริยาระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ มีผลต่อการเกิดฟิล์มลอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.028

ปัจจัยที่ 3: อันตรกิริยาระหว่าง อุณหภูมิชิ้นงาน*แรงดันสุญญากาศ*อัตราระเหยของสารมีผลต่อการเกิดฟิล์มลอกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.006

11. อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาฟิล์มลอกในการเคลือบผิวฟิล์มบาง แผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ จาก 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาฟิล์มลอกในการเคลือบผิวฟิล์มบางบนฐานรองซิลิคอนเวเฟอร์ คุณภาพของการยึดติดของชั้นเคลือบหรือฟิล์มบางที่เคลือบบนฐานรองจะขึ้นกับเงื่อนไขหรือปัจจัยต่างๆ หลายประการดังนี้

1. ปัจจัยด้านอุณหภูมิชิ้นงาน จากการทดสอบชิ้นงาน พบว่า อุณหภูมิแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ มีผลกระทบต่อการเกิดฟิล์มลอกอย่างมีนัยสำคัญ P-Value ที่ระดับ 0.000 ในกระบวนการผลิตปัจจุบันตั้งค่าอุณหภูมิของห้องเคลือบไว้ต่ำสุดและสูงสุดที่ 110 และ 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งเป็นการกำหนดโดยพิจารณาถึงความแข็งแรงของผิวฟิล์มเป็นหลัก หากอุณหภูมิที่กำหนดต่ำกว่า 110 องศาเซลเซียสจะทำให้การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของสารเคลือบน้อยเกินไป และทำให้ผิวเคลือบหลุดลอกได้ ในขณะเดียวกันหากกำหนดสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวเคลือบเนื่องมาจากความเครียด (Stress) ที่ผิวฟิล์มในเนื้อฟิล์ม ซึ่งเป็นไปตามข้อสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ[7], [8] ซึ่งรายงานว่าความเครียดคงค้าง (Residual stress) ในเนื้อฟิล์มมีสาเหตุหลายประการเช่นเป็นผลจากความร้อนที่เกิดขึ้นเองในกระบวนการเคลือบฟิล์ม หรือเป็นผลจากความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal expansion coefficient) ของอะตอมสารเคลือบที่เป็นเนื้อฟิล์มและอะตอมของชิ้นงานหรือวัสดุรองรับ [9], [10]

2. ปัจจัยด้านระดับสุญญากาศ จากการทดสอบชิ้นงาน พบว่า ระดับสุญญากาศ ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดฟิล์มลอกที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าค่า P-Value ที่ระดับ 0.054 ของปัจจัยข้างต้นจะสูงเมื่อเทียบกับระดับการยอมรับทั่วๆไป (0.05) ระดับสุญญากาศ ในสภาวะที่เป็นสุญญากาศสูง (High vacuum) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารเคลือบจากแหล่งกำเนิดความร้อนไปยังฐานรองรับจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ในขณะที่สภาวะที่มีความเป็นสุญญากาศต่ำ (Low vacuum) โมเลกุลของสารจะเกิดการชนกันในระหว่างการเดินทาง ดังนั้นในสภาวะสุญญากาศสูงจะทำให้มีความสม่ำเสมอ(Uniformity) ของการปลูกฟิล์มเนื่องจากปราศจากการชนกันของโมเลกุลและทำให้ความหนาในการเคลือบเป็นไปตามที่กำหนด

3. ปัจจัยด้านอัตราการระเหยของสาร จากการทดสอบชิ้นงาน พบว่าอัตราการระเหยของสาร ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดฟิล์มลอกซึ่งจากค่า P-Value ที่ระดับ 0.258 ของปัจจัยข้างต้นจะสูงเมื่อเทียบกับระดับการยอมรับทั่วๆไป (0.05) ในกระบวนการผลิตปัจจุบันตั้งค่าอัตราความเร็วของการเคลือบสารต่ำสุดและสูงสุดที่10 และ 20 อังสตรอมต่อวินาทีตามลำดับ หากตั้งค่าสูงเกินไปจะทำให้เกิดสะเก็ดของสารไปติดที่ผิวของชิ้นงานเนื่องจากสารเคลือบถูกกระแทกด้วยอิเล็กตรอนที่มีมากจนเกินไปและทำให้กลายเป็นของเสียในที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย

12.ข้อเสนอแนะ

12.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

1. สำหรับการทำงานจริงหากมีการกำหนดระดับของปัจจัยตามการทดลองแล้ว อาจจะไม่มีการเกิดฟิล์มลอกแต่เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น เครื่องจักรที่เก่าทำให้ ไม่สามารถตั้งค่าอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ ประสิทธิภาพของระบบสุญญากาศ ดังนั้นควรตรวจสอบเครื่องจักรให้สามารถตั้งค่าได้ตามข้อกำหนดเพื่อลดปัญหาการเกิดฟิล์มลอกจากปัจจัยภายนอก

2. จากผลการทดลอง ระดับปัจจัยทั้ง 3 ที่ใช้ในการทดลอง ดังกล่าวไม่ใช่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตนี้ หากต้องการทราบว่าระดับปัจจัยทั้ง 3 คือ อุณหภูมิฐานรองรับชนิดซิลิคอน ระดับสุญญากาศ และอัตราระเหยสารที่เหมาะสมที่สุดเป็นเท่าใด ควรต้องทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป

12.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต

จากการวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบและการใช้หลักการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการเคลือบผิวที่มีผลกระทบต่อปัญหาฟิล์มลอกของฐานรองรับชนิดซิลิคอนพบว่าสามารถทราบปัจจัยที่ทำให้ฟิล์มลอกเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นควรมีการใช้แนวทางการวิจัยในลักษณะนี้ไปขยายผลสู่ปัญหาอื่นต่อไป เช่น ปัญหาเกี่ยวกับการเกิดของเสียในส่วนการผลิตอื่นเป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้กับลักษณะงานหรือกิจกรรมอื่นๆ ในองค์กร เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์ การเพิ่มผลผลิต การลดเวลาการทำงาน การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] นดร์ วิทิตอนันต์. 2542. **การวัดความหนาของฟิล์มทองคำซึ่งเคลือบบนแผ่นแก้วด้วยเทคนิคการเรื่องรังสีเอ็กซ์** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] อนันต์ บรรหารสกุล. 2549. **การสร้างแบบจำลองขนานสำหรับการเคลือบฟิล์มบางโดยใช้วิธี DSMC** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] กฤตธน ส้มอั้น. 2554.ปัจจัยที่ส่งผลต่อความรู้และเจตคติของหัวหน้างานเกี่ยวกับระบบห้องสะอาดในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมการผลิตยาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม,** 10(3), น.236-245

[4] H Angus Macleod, 1986, 2001. **Thin Film Optical Filters**. 3rd ed., Institute of Physics, London (n.p.)

[5] นิรันดร์ วิทิตอนันต์. 2553 กระจกเงาเคลือบโครเมียมที่เคลือบด้วยเทคนิคสปัตเตอริงสำหรับกระจกเงาส่องหลังรถยนต์ **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ,** 12(3), น.52-63.

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์.2551. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and analysis of experiment)**. กรุงเทพฯ: ท้อป.

[7] Sheeja, D., Tay, B.K., Leong, K.W. and Lee, C.H. (2002). “Effect on film thickness on the Stress And adhesion of diamond-like Carbon Coatings, **“Diamond and Related Material,** 11, p. 1643-1647.

[8] Wei, C. And Yen, J.Y. (2007). “Effect of film Thickness and interlayer on the adhesion Strength Of diamond like carbon films on Different Substrates,” **Diamond and Related Materials**,16, p. 1325-1330

[9] Varias, A.G., Mastorakos, I. And Aifantis, E.C. (1999). “Numerical simulation of interface Crack in thin films,” **International Journal of Fracture**, 98, p. 195-207

[10] Kitamura, T., Hirakata, H. and Itsuji, T. (2003). “Effect of residual stress on Delamination From Interface dege Between Nano-films,” **Engineering Fracture Mechanics**, 70, p. 2089 - 2101.