บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการสร้างลวดลายด้วยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน เพื่อสร้างลวดลายผลิตภัณฑ์ Specialty head แบบ Burnish head ABS ซึ่งเป็นหัวขัดสำหรับแผ่นบันทึกข้อมูล โดยข้อมูลดิจิตอลจำนวนมากจะถูกเก็บไว้บนแผ่นบันทึกข้อมูลซึ่งจะถูกอ่านและเขียนด้วยหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยแผ่นบันทึกข้อมูลนี้จะต้องสะอาดและเรียบเพื่อป้องกันความเสียหายใด ๆระหว่างหัวอ่าน-เขียนบินอยู่เหนือพื้นผิวของแผ่นบันทึกข้อมูลเหล่านี้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจึงได้มีการนำหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish มาใช้ในการขัดดิสก์แม่เหล็กและพื้นผิวดิสก์ของแผ่นบันทึกข้อมูล หัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish จะทำหน้าที่ในการปรับความเรียบของแผ่นบันทึกข้อมูล ทำให้แผ่นบันทึกข้อมูลมีความสะอาดและเรียบ โดยกระบวนการผลิตจะใช้แผ่น AlTiC หรือ Al_2O_3-TiC ทำการถ่ายลวดลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) บนสารไวแสง AZ P4620 แล้วเคลือบฟิล์มโครเมียมหนาด้วยเทคนิคสบัตเตอร์ริง จากนั้นทำการล้างสารไวแสงและกัดโครเมียมออกบางส่วน สุดท้ายทำการกัดด้วยเครื่องรีแอคทีฟไอออน (Reactive Ion Etching : RIE) ซึ่งจะใช้ก๊าซ CF_4 ในการกัดโดยจะทำการกัดจนได้ความลึกเท่ากับ 30 μm สุดท้ายหน้ากากแข็งโครเมียมจะถูกกัดออก จึงได้หัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish ออกมา แล้วทำการวัดค่ามิติวิกฤต (Critical Dimension ; CD)

จากกระบวนการดังกล่าวพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish มีระยะเวลาที่ยาวนาน อีกทั้งสารเคมีที่ถูกนำมาใช้ในการกัดเอาโครเมียมออกมีราคาค่อนข้างสูงและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดต้นทุนในการผลิตสูง เพื่อแก้ปัญหานี้วัสดุหน้ากากแข็งอื่นที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนในการสร้างรูปแบบและถูกล้างออกได้อย่างง่ายดายด้วยสารเคมีที่ปลอดสารพิษจึงถูกนำมาวิจัย โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโดยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน โดยใช้สารไวแสงชนิดลบ SU-8 เป็นโครงสร้างที่ถูกสร้างเป็นหน้ากากแข็งสำหรับป้องกัน AlTiC ในกระบวนการกัดด้วยเครื่อง RIE

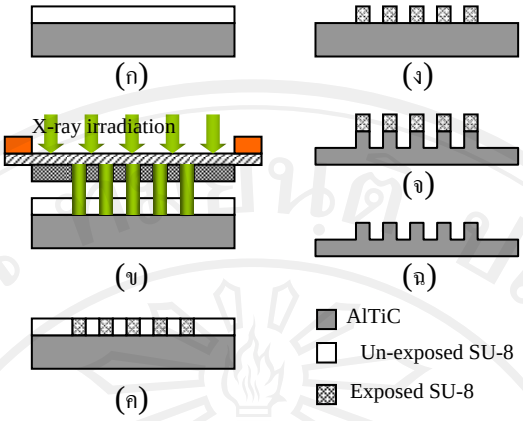
ก่อนที่เราจะสามารถสร้างลวดลายหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish โดยการใช้ SU-8 เป็นหน้ากากแข็งด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน เรา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต้องทำการสร้างหน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำหนดลวดลายของสารไวแสง ซึ่งในการวิจัยนี้ เราได้ทำการสร้างหน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์โดยการใช้โลหะเงิน เนื่องจากเป็นโลหะที่มีเลขอะตอมและความหนาแน่นสูงซึ่งเป็นคุณสมบัติสำหรับวัสดุดูดซับ อีกทั้งยังมีราคาที่ถูกและราคาก็ไม่แพงเมื่อเทียบกับทองคำซึ่งถือว่าเป็นวัสดุดูดซับที่มีราคาแพง หน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์นี้ประกอบไปด้วยโลหะดูดซับรังสี (Absorber pattern) แผ่นรองรับ (Pattern carrier) และกรอบยึด (Holder) ซึ่งเราจะทำการเตรียมลวดลายที่เราต้องการ ด้วยการเตรียมวงแหวน ทำการเคลือบโลหะไททาเนียม (Ti) และเงิน (Ag) ด้วยการระเหยด้วยความร้อนในสุญญากาศ จากนั้นนำไปหมุนเคลือบด้วยสารไวแสง AZ P4620 ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm อบที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบ วางไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ชิ้นงานเย็นตัว จากนั้นนำไปฉายแสงอัลตราไวโอเลตด้วยพลังงานประมาณ 5400 mJ/cm^2 จากนั้นทำการล้างสารไวแสงเพื่อให้เกิดลวดลายด้วยสารละลาย KHO : H_3BO_3 : น้ำบริสุทธิ์ ที่อัตราส่วน 4g : 1g : 200 ml ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ตามด้วยน้ำบริสุทธิ์ เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ และทำการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าบนชิ้นงานด้วยโลหะเงิน (Ag) โดยใช้ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง เราจะได้ความหนาของโลหะดูดซับที่ 20 μm - 30 μm

หลังจากที่ได้หน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์แล้ว ขั้นตอนไปจะทำการผลิตหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish โดยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนดังรูปที่ 5.1 โดยทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับนำไปอาบรังสีเอกซ์ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้แผ่น AlTiC เป็นชิ้นงานซึ่งเราจะนำชิ้นงานนี้ไปเคลือบสารไวแสงชนิดลบ SU-8 3050 โดยขั้นตอนนี้สิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษที่ความราบเรียบสม่ำเสมอของสารไวแสงหลังจากทำการขัดสารไวแสงให้มีความราบเรียบที่สม่ำเสมอดังรูป 5.1 ก เมื่อได้ตัวชิ้นงานสำหรับการนำไปอาบรังสีแล้ว ก็นำชิ้นงานนี้ไปทำการอาบรังสีเอกซ์ดังรูป 5.1 ข ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่ถูกอาบรังสีแล้วดังรูป 5.1 ค จากนั้นนำไปล้างสารไวแสงออกโดยน้ำยา SU-8 Developer จะได้หน้ากากแข็งที่สร้างด้วยสารไวแสง SU-8 ดังรูป 5.1 ง และนำไปกัดโดยเครื่องพลาสมา RIE ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิด AlF_3 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของชิ้นงานกับก๊าซที่ใช้ในเครื่องกัด คือ AlTiC กับ ก๊าซ CF_4 ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้ในการกัดโดยเครื่องกัดพลาสมา RIE ซึ่งเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิด AlF_3 โดยวิธีกำจัด AlF_3 คือการใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.05% โดยปริมาตร โดยการล้าง AlTiC ที่ผ่านการกัดใน NaOH เป็นเวลา 5 นาที และใช้แปรงอ่อนๆ ขัดเบาๆ เพื่อให้ AlF_3 หลุดจากนั้นใช้น้ำบริสุทธิ์ ล้างเป็นเวลา 2 นาทีและนำมาเป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ได้ชิ้นงานออกมาดังรูป 5.1 จ สุดท้ายนำไปแช่น้ำยา PR Remover เพื่อให้สารไวแสง SU-8 ที่ยังคงเหลือจากการกัดออกให้หมด ก็จะได้ชิ้นงานที่มีลวดลาย Burnish head ABS ดังรูป 5.1 ฉ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 5.1 ขั้นตอนการผลิต Burnish head ABS โดยการใช้ SU-8 เป็นหน้ากากแข็งด้วยกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน

เมื่อได้ขั้นตอนกระบวนการสร้างลวดลายหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน โดยการนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดจำนวนการทดลอง ผู้วิจัยได้เริ่มขั้นตอนวิจัยจากการออกแบบการทดลอง โดยการออกแบบแบบดั้งเดิมได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมิติวิกฤต และความลึกของการกัดในกระบวนสร้างลวดลายหัวขัดแผ่นบันทึกข้อมูลลาย Burnish ด้วยรังสีเอกซ์ จะพบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลักๆ อยู่ 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. พลังงานในการอาบรังสีเอกซ์ 2. ค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 และ 3. ระยะเวลาในการกัดชิ้นงาน โดยได้ทำการทดลองโดยการควบคุมปัจจัยทั้งหมดให้อยู่ในเงื่อนไขเดียวกัน เช่นการใช้เครื่องกัด RIE การทดลองนี้เราจะใช้เครื่องกัด RIE #2 และกำหนดค่าของเครื่องกัดให้คงที่ คือ ค่า CF_4 Flow Rate = 20±1 sccm Chamber Pressure = 2±0.1 mTorr และ Power = 250±10Watt โดยกำหนดให้แต่ละปัจจัยจะประกอบด้วยระดับต่ำและสูง โดยผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัย ระดับ ขอบเขตและสัญลักษณ์แสดงดังตารางที่ 3.2 ผู้วิจัยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และทำการทดลองที่จุด Center Point อีก 4 ครั้ง รวมทำการทดลองจำนวน 20 การทดลอง และหาเงื่อนไขที่ทำให้ผลตอบออกมาตามเป้าหมายตามที่โรงงานกำหนด โดยกำหนดให้ค่ามิติวิกฤตเท่ากับ 8.02 mil และค่าความลึกเท่ากับ 30 μm จากผลการทดลองพบว่าการทดลองที่ 20 การทดลอง ให้ผลตอบออกมาไม่เป็นที่น่าพอใจ เนื่องจากยังมีปัจจัยด้าน Curvature ที่ให้ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 นั่นหมายความว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองอาจมีปัจจัยเป็นกำลังสองเกิดขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยทำการทดลองส่วนประสมกลาง (CCD) ในแต่ละเงื่อนไขในการทดลองซึ่งได้การทดลองยืนยันผลตามเงื่อนไขระดับค่าที่เหมาะที่สุดของปัจจัย คือ ค่าพลังงานในการอาบรังสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอกซ์= 23010.1 mJ/cm^3 ค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 = 250 μm และ ระยะเวลาในการกัดชิ้นงาน = 20 hrs ทำให้ได้ผลตอบค่ามิติวิกฤตเท่ากับ 7.0252 mil และค่าความลึกของการกัด = 30.1128 μm เมื่อนำไปทดลองใช้ในกระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน พบว่าค่ามิติวิกฤตและค่าความลึกของการกัด มีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ คือผลที่ได้จากการทดลองด้วยสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน วัดค่ามิติวิกฤตได้ 7.028 mil และความลึกได้ 30.02 μm ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่คำนวณจากการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดคิดเป็น 0.04% ของผลตอบมิติวิกฤต และ 0.28% ของผลตอบความลึก และมีความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมาย คิดเป็น 12.37% ของผลตอบมิติวิกฤตและ 0.67%ของผลตอบความลึก

หลังจากได้ผลตอบของการสร้างหน้ากากแข็งโดยการใช้สารไวแสง SU-8 ด้วยการใช้กระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแล้วได้ทำการนำมาเปรียบเทียบกับหน้ากากแข็ง AZ และโลหะโครเมียม เนื่องจาก AZ เป็นสารไวแสงชนิดบวกซึ่งสามารถจะถูกสร้างลวดลายและล้างออกได้ง่ายกว่า SU-8 แต่ไม่สามารถขึ้นลวดลายที่มีความหนามากๆได้ เพราะลวดลายที่ถูกสร้างจะผิดเพี้ยนไปจากลวดลายต้นแบบ โดยทำการหาค่า Selectivity ซึ่งเป็นการหาค่าอัตราส่วนระหว่างความสามารถของการกัดสารไวแสงและการกัดชิ้นงาน(AlTiC) เพื่อให้ได้ค่าความหนาที่สามารถทนต่อการกัดโดยเครื่อง RIE ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ 3.1 และ 3.2 โดยผลการเปรียบเทียบเป็นดังตาราง 5.1

ตาราง 5.1 เปรียบเทียบผลตอบที่ได้จากการกัดด้วยเครื่อง RIE ในแต่ละวัสดุที่นำมาใช้เป็นหน้ากากแข็ง

Mask materials	**Z_1**	**Z_2**	**Z_3**	**SR**	**T_s**	**Etched time (min)**	**Wall angle**	**CD error**	**Sigma $\leq$ 0.08**
Chromium	7.32	27.99	24.33	1 : 0.15	4.5	1140	65°	0.23%	0.008
SU-8 photoresist	152	47.29	30.2	1 : 4.46	133.8	1200	44.8°	0.86%	0.065
AZ photoresist	25.36	21.09	0.62	1 : 7.88	236.4	35	17.489°	8.05%	0.304

จากมาตรฐานโรงงานกำหนดให้ CD sigma control Step hard mask strip CD sigma น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.08 จากตาราง 5.1 จะเห็นว่าเมื่อเราใช้หน้ากากแข็งที่สร้างโดยสารไวแสง SU-8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยการใช้กระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะได้ค่า CD sigma อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ เราสามารถนำสารไวแสง SU-8 มาประยุกต์ใช้เป็นหน้ากากแข็งแทน แต่ในกระบวนการผลิตนั้นยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง คือการเกิด CF_4 ทำให้ค่ามิติวิกฤตที่ต้องการผิดเพี้ยนไปจากเดิมค่อนข้างมาก ทางผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า การนำสารไวแสง SU-8 ไปประยุกต์ใช้น่าจะเป็นหนทางหนึ่งที่จะทำให้โรงงานสามารถลดต้นทุนได้ค่อนข้างมาก อีกทั้งจากการทดลองค่าที่ออกมาก็มีค่าไม่ต่างจากค่าที่ได้จากหน้ากากแข็งโครเมียม ทั้งวิธีการนี้ยังสามารรถลดขั้นตอนในการผลิตลดจากเดิมค่อนข้างมาก หากเทียบกับขั้นตอนการผลิตเดิม แต่งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดคือ แหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอนมีแห่งเดียวในประเทศไทย คือ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จังหวัดนครราชสีมา และหากจะทำการก่อสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ณ ปัจจุบันยังมีต้นทุนที่สูงมาก ทำให้ยังไม่สามารถนำงานวิจัยนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแท้จริงได้

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างลวดลาย Burnish head ABS ด้วยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อลดจำนวนการทดลองและเพื่อให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด โดยขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาและทดลองจากกระบวนการลิโธกราฟีด้วยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตซึ่งเป็นกระบวนการเดิมสำหรับการสร้าง Burnish head ABS ซึ่งจากกระบวนการนี้พบว่าหน้ากากแข็งที่ใช้ในกระบวนการ คือ โลหะโครเมียม ซึ่งพบว่า มีระยะเวลาสำหรับการผลิตที่ยาวนาน อีกทั้งสารเคมีที่ถูกนำมาใช้ในการกัดเอาโครเมียมออกมีราคาค่อนข้างสูงและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมส่งผลให้เกิดต้นทุนในการผลิตสูง โดยวัสดุหน้ากากแข็งอื่นที่มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนในการสร้างรูปแบบและถูกล้างออกได้อย่างง่ายดายด้วยสารเคมีที่ปลอดสารพิษจึงถูกนำมาวิจัย โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและประยุกต์โดยใช้สารไวแสงชนิดลบ SU-8 เป็นโครงสร้างที่ถูกสร้างเป็นหน้ากากแข็งสำหรับป้องกัน AlTiC ในกระบวนการกัดด้วยเครื่อง RIE จากการศึกษาการใช้สารไวแสงทั้งหมด SU-8 เป็นทางเลือกที่ดีเพราะสามารถสร้างลวดลายได้อย่างง่ายดายด้วยความแม่นยำสูงโดยกระบวนการลิโธกราฟีและให้ความคมชัดสูงสามารถสร้างโครงสร้างจุลภาคสูงจากระดับนาโนเมตรจนถึงมิลลิเมตรได้ นอกจากนี้ยังมีความเสถียรภาพสูงสำหรับการเป็นหน้ากากในการทนต่อการกัดด้วยพลาสมาและความร้อน ซึ่งการใช้รังสีเอกซ์สามารถสร้างโครงสร้างที่มีความแม่นยำได้ง่ายกว่า ได้ผนังแนวดิ่งที่ตรงและไม่ผิดเพี้ยนจากต้นแบบ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ ทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สารไวแสง SU-8 ที่ใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์มาใช้เพื่อการยอมรับสำหรับค่ามิติวิกฤต (CD) สำหรับการสร้างลวดลายของ Burnishing head

แต่ในกระบวนการผลิตพบว่า มีการเกิด Re-deposition คือ AlF_3 ปกคลุมชิ้นงานระหว่างกระบวนการกัดทำให้ค่ามิติวิกฤตที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปค่อยข้างมาก ซึ่งAlF_3 นี้สามารถขจัดออกได้ด้วยการใช้ NaOH 0.05% ทำให้หัวขัด Burnishing head ที่ได้จากกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและทำการกัดด้วยเครื่อง RIE ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อให้ผลตอบมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่สุด และเนื่องจากการวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการค้นหาวัสดุอื่นแทนของโลหะโครเมียม แม้ว่าเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนจะถูกจำกัดด้วยแหล่งกำเนิดแสง แต่ถ้าหากบริษัท ฯ ตระหนักดีว่าวิธีการนี้สามารถที่จะพัฒนาสายการผลิตที่พวกเขาสามารถลงทุนสร้างเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนขนาดกะทัดรัดในอาคารซึ่งเป็นที่พร้อมเสมอสำหรับการผลิตก็จะทำให้สามารถลดต้นทุนในแง่ของการนำสารไวแสง SU-8 มาใช้แทนโลหะโครเมียมได้เป็นอย่างมาก

โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง Burnish head ABS ด้วยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน คือ ค่าพลังงานในการอาบรังสีเอกซ์ = 23010.1 mJ/cm^3 ค่าความหนาของสารไวแสง SU-8 = 250 μm และระยะเวลาในการกัดชิ้นงาน = 20 hrs ซึ่งจะให้ผลตอบของมิติวิกฤตและความลึกอยู่ที่ 7.0252 mil และ 30.1128 μm ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการวิจัยของงานวิจัยนี้ที่มีผลต่อกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและทำการกัดด้วยเครื่อง RIE ดังนี้

1. สามารถยืนยันว่าปัจจัย ค่าพลังงานในการอาบรังสีเอกซ์ ค่าความหนาของสารไวแสง และระยะเวลาในการกัดชิ้นงาน ในกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและทำการกัดด้วยเครื่อง RIE มีผลต่อผลตอบมิติวิกฤตและความลึก

2. ได้หน้ากากแข็งที่สร้างโดยสารไวแสง SU-8 ด้วยการใช้กระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน ซึ่งจะให้ค่า CD sigma อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ เราสามารถนำสารไวแสง SU-8 มาประยุกต์ใช้เป็นหน้ากากแข็งแทนโครเมียมได้

3. สามารถหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการลิโธกราฟีด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนและทำการกัดด้วยเครื่อง RIE ด้วยเทคนิค Gradient Search

4. ในการนำชิ้นงานไปประยุกต์ใช้ในโรงงานจริงๆ ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงเนื่องจากโดยพื้นฐานเป็นการศึกษาเบื้องต้นและจำเป็นต้องศึกษาถึงประสิทธิภาพในการใช้สำหรับสายการผลิตและความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์อีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

จากการทำงานวิจัยดังกล่าวมีปัญหาและอุปสรรคดังนี้

1. ในการทำหน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์ต้องใช้ความชำนาญและความประณีตในการทำเพื่อให้ได้ลวดลายที่ไม่ผิดเพี้ยนจากต้นฉบับ

2. ระหว่างกระบวนการกัดซึ่งเกิด Re-deposition คือ AlF_3 ทำให้โครงสร้าง Burnish head ABS มีความผิดเพี้ยนไป ส่งผลให้ขอบผนังของชิ้นงานมีความลาดเอียงเป็นอย่างมาก ทำให้ค่ามิติวิกฤตที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐาน

3. ในการค้นหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการสร้างลวดลาย Burnish head ABS ด้วยการใช้กระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนอาจใช้วิธีอื่นๆได้

4. ในการทำวิจัยนี้ต้องเดินทางไป-มา ระหว่างสองที่ คือที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน จังหวัดนครราชศรีมากับบริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล ประเทศไทยจำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อความล่าช้าในการทำวิจัย

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยดังกล่าวมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ในการทำหน้ากากดูดซับรังสีเอกซ์ควรจะมีการฝึกทำให้เกิดความชำนาญ และผู้ปฏิบัติควรใช้ความปราณีและความละเอียดอ่อนในการทำ

2. ในระหว่างกระบวนการกัดที่เกิด Re-deposition คือ AlF_3 ผู้ปฏิบัติงานควรมีการนำชิ้นงานออกมาเพื่อกำจัด AlF_3 ออกเป็นระยะๆ แต่ต้องระมัดระวังระหว่างนำชิ้นงานออกมาห้ามให้มีสิ่งสกปรกตกลงบนชิ้นงาน เพราะจะยิ่งทำให้ชิ้นงานเสียหายกว่าเดิม

3. การค้นหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการสร้างลวดลาย Burnish head ABS ด้วยการใช้กระบวนการสร้างลวดลายด้วยรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนอาจใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์อื่นๆ เช่น การหาค่าเหมาะที่สุดแบบเฟ้นสุ่ม การโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) หรือวิธีอื่นๆอีกมากมาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.5 แนวทางการศึกษาในอนาคต

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาสำคัญของการประยุกต์ใช้หน้ากากแข็ง SU-8 ในการสร้างลวดลาย Burnish head ABS คือการเกิด AlF_3 ส่งผลให้ลวดลายที่ได้มีความผิดเพี้ยนจากต้นแบบ รวมถึงการประยุกต์ใช้แสงซินโครตรอนในการสร้างหน้ากากแข็ง SU-8 ยังมีข้อจัดกัดด้าน

ทรัพยากรที่เป็นเฉพาะทาง เป็นไปได้ยากที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถนำงานวิจัยมีความเป็นไปได้มากขึ้นในการนำไปใช้งานได้จริง จึงได้วางแนวทางการศึกษาในอนาคตได้ดังนี้

1. สร้างหน้ากากแข็ง SU-8 ที่มีความหนาที่สอดคล้องกับค่า selectivity เพื่อปริมาตรสารไวแสงที่ใช้ในการเคลือบแผ่น AlTiC และลดระดับพลังงานและระยะเวลาในการอาบรังสีเอกซ์ลง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและลดระยะเวลาในการสร้างหน้ากากแข็งได้

2. เพิ่มขั้นตอนการอบแข็ง (hard-baking) ให้กับหน้ากากแข็ง SU-8 ภายหลังการล้างชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งให้กับสารไวแสง เงื่อนไขในการอบแข็งที่เหมาะสมระหว่าง 150°C - 250°C จะส่งผลให้หน้ากากแข็ง SU-8 มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูงและลดการผิดเพี้ยนหรือหลุกร่อนของโครงสร้างระหว่างการสกัดด้วย RIE

3. การนำหน้ากากแข็ง SU-8 ออกจากแผ่น AlTiC ภายหลังการสกัด สามารถลดระยะเวลาโดยการเคลือบบนผิว AlTiC ด้วยสารละลาย Omni Coat ที่ระดับความหนา 30 nm – 100 nm ก่อนที่จะเคลือบด้วยสารไวแสง SU-8 ซึ่งจะช่วยให้สารละลาย Remover PG สามารถนำโครงสร้างหน้ากากแข็ง SU-8 ออกได้อย่างรวดเร็ว

4. การสกัดลวดลาย Burnish head ABS ด้วย RIE นั้น จำเป็นต้องศึกษาถึงเงื่อนไขการสกัดชั้นวัสดุออกให้เร็วที่สุด เพื่อลดการเปิด AlF_3 ทั้งกำลังของเครื่อง อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนและ CF_4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved