บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่าการฉายแสงหลายครั้ง (Multiple exposure) ด้วยกระจกต้นแบบชนิดไบนารี (Binary intensity mask หรือ BIM) นั้น สามารถสร้างโครงสร้างจุลภาคสามมิติ ชนิดพื้นผิวแอร์แบริ่ง (Air bearing surface หรือ ABS) สำหรับหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ (Hard-disk read/write head) ได้ ด้วยการเคลือบชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงและการล้างลายเพียงครั้งเดียว โดยปัจจัยในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงภายหลังการล้างลาย สำหรับการฉายแสงหลายครั้ง คือ ค่าพลังงานในการฉายแสงครั้งที่หนึ่งและครั้งที่สอง อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบและเวลาในการล้างลาย นอกจากนี้ยังพบว่า ถึงแม้ค่าพลังงานขีดเริ่มในการฉายแสง (Dose-to-Clear หรือ E_0) ของการฉายแสงเพียงครั้งเดียวและการฉายแสงหลายครั้ง มีค่าเท่ากันคือ 750 mJ/cm^2 แต่สมการถดถอยเชิงเส้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของการฉายแสงเพียงครั้งเดียว ก็ไม่สามารถอธิบายกลไกการเกิดลวดลายสำหรับการฉายแสงหลายครั้งได้ แสดงว่าการฉายแสงครั้งที่หนึ่ง ส่งผลต่อคุณสมบัติของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ด้วยเหตุนี้จึงได้ทดลองหาการหาค่าคงที่ของดิลล์ (Dill's exposure kinetic parameters) เพื่ออธิบายจลพลศาสตร์ของการฉายแสง และหาค่าคงที่ต่างๆของแมค (Mack's developer kinetic parameters) เพื่ออธิบายจลพลศาสตร์ของการล้างลาย สำหรับกระบวนการถ่ายแบบลายวงจรที่มีการฉายแสงหลายครั้ง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการละลาย และค่าคงที่ต่างๆ ของการล้างลายสำหรับการฉายแสงเพียงครั้งเดียวและการฉายแสงหลายครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันมาก แต่เมื่อนำค่าคงที่ต่างๆ ไปใช้ในโปรแกรมแบบจำลอง OPTOLITH พบว่าค่าความหนาชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่เหลือภายหลังการฉายแสงที่คำนวณได้นั้น ไม่ตรงกับค่าจากการทดลอง ทั้งนี้เนื่องมาจากการฉายแสงครั้งที่หนึ่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ความแข็งแรงของพันธะโมเลกุลของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงและความว่องไวต่อค่าพลังงานของน้ำยาไวแสงในระหว่างการฉายแสงครั้งที่สอง เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ไม่สามารถใช้ค่าคงที่มาตรฐานของดิลล์ที่ทางบริษัทผู้ผลิตน้ำยาไวแสงยี่ห้อ Clariantz รุ่น AZ-P4620 กำหนดมาได้ จึงได้ทดลองปรับเปลี่ยนค่าคงที่ของดิลล์ โดยพบว่าในการฉายแสงหลายครั้งนั้น ส่งผลต่อค่าคงที่ดิลล์ซี (*Dill's C*) เป็นอย่างมาก จึงได้ใช้เทคนิคลองผิดลองถูก (Trial and error) ในการทดลองเพื่อหาค่าคงที่ชดเชยของดิลล์ซีสำหรับแต่ละค่าพลังงานในการฉายแสงครั้งที่หนึ่ง ของการฉายแสงหลายครั้ง ภายหลังจากการใช้ค่าคงที่ชดเชยของดิลล์ซี พบว่าค่าความหนาชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงภายหลังการฉายแสงหลายครั้ง ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณนั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริงมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm$2.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ที่เท่ากับ $\pm$ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่

ยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่างานวิจัยนี้สามารถพัฒนาค่าคงที่ต่างๆสำหรับโปรแกรมแบบจำลอง OPTOLITH เพื่อใช้สำหรับกระบวนการฉายแสงหลายครั้งได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะหลังจากการทำการศึกษาและวิจัยเรื่องนี้ คือ ควรใช้เทคนิคอื่นๆ ในการวัดค่าความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงเพิ่มเติมจากการใช้เครื่อง Step profiler ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวจะต้องมีระดับอ้างอิง เพื่อที่จะคำนวณหาความต่างของระดับ และแปลงผลมาเป็นความหนาของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของความหนาชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงเริ่มต้น ในแต่ละชิ้นงาน นอกจากนี้ควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการคำนวณผลด้วยโปรแกรมแบบจำลอง OPTOLITH ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำให้มีข้อจำกัดในการกำหนดค่ากริดและความละเอียดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ทำให้ไม่สามารถสร้างลวดลายจุลภาคสามมิติ ที่มีขนาดเท่ากับพื้นผิวแอร์แบริ่งจริงๆได้ จึงไม่สามารถศึกษาผลของค่าพลังงานในการฉายแสงหลายครั้ง ต่อขนาดของลายวงจรและมุมผนังลายวงจรได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้เมื่อแก้ปัญหาในเรื่องดังกล่าวได้แล้ว ก็จะสามารถวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตสำหรับคุณภาพของลายวงจร ทั้งในส่วนของขนาดลายวงจร มุมผนังลายวงจร และความหนาชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงภายหลังการล้างลาย โดยใช้กราฟหน้าต่างกระบวนการผลิต (Process window) ได้

5.3 งานวิจัยที่ต้องดำเนินการต่อ

จากการทดลองที่ได้ดำเนินการไปแล้วนั้น ถือว่าผลการทดลองที่ได้เป็นที่น่าพอใจ และตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามจะต้องศึกษาผลของความหนาแน่นของลวดลาย (Pattern density) ต่ออัตราการละลายของชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ที่ผ่านการฉายแสงหลายครั้ง และงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดได้ คือ จะต้องนำชิ้นงานที่มีลวดลายจุลภาคสามมิติ บนชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสง ไปทำการกัด (Etching) เพื่อดูอัตราการเลือกกัด (Etch selectivity) ระหว่างชั้นฟิล์มน้ำยาไวแสงที่มีลักษณะ 3 มิติ กับผิวชิ้นงานอลูมิเนียมไททาเนียมคาร์ไบด์ (Aluminium Titanium Carbide หรือ AlTiC) ว่าสามารถถ่ายทอดลวดลายลงไปบนผิวชิ้นงานได้เป็นรูปร่างสามมิติ เช่นเดียวกันหรือไม่ และได้ความลึกของการกัด (Etch depth) ในแต่ละพื้นที่ ตามที่กำหนดหรือไม่ จากนั้นจะต้องใช้เทคนิคการฉายแสงหลายครั้งดังกล่าว เพื่อสร้างผิวแอร์แบริ่งบนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ และนำหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ ดังกล่าว ไปทดลองทำการบินเหนือจานเก็บข้อมูล (Media disk) และเปรียบเทียบระยะความสูงของการบิน (Fly height) กับหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ ที่สร้างโดยกระบวนการถ่ายแบบลายวงจรแบบทั่วไป เมื่อได้ผลการทดลองที่ดีเช่นเดียวกับการฉายแสงแบบทั่วไปแล้ว จะต้องมีศึกษาความน่าเชื่อถือ (Feasibility) ของเทคนิคการถ่ายแบบลายวงจรดังกล่าว โดยการทำซ้ำชิ้นงานเพื่อดู

ความสามารถในการผลิตซ้ำ (Repeatability and reproducability) โดยตรวจสอบค่าความสม่ำเสมอของความหนาชั้นฟิล์มภายในชิ้นงานเดียวกัน (Within-wafer uniformity) ชิ้นงานคนละชิ้น (Wafer-to-wafer uniformity) และระหว่างล็อตการผลิต (Lot-to-lot uniformity) นอกจากนี้จะต้องคำนวณต้นทุนและเวลาที่ใช้สำหรับเทคนิคการฉายแสงหลายครั้ง และนำข้อมูลทั้งเชิงฟิสิกส์ และเศรษฐศาสตร์ มาทำการวิเคราะห์จุดเด่น (Strength) จุดด้อย (Weakness) โอกาสทางการตลาด (Opportunity) และความเสี่ยง (Thread) หรือที่เรียกว่าเทคนิค SWOT analysis เพื่อพิจารณาภาพรวมและแนวโน้มในการผลักดันเทคโนโลยีดังกล่าว เข้าไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่อไป