บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

7.1.1 โมเดลการทำนายอายุการใช้งานของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ

จากผลการวิเคราะห์การทดสอบอิเล็กโทรไมเกรชั่นเพื่อหาโมเดลในการทำนายอายุของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟแบบ A และ แบบ B ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลอง โดยใช้โมเดลของ Arrhenious ซึ่งได้โมเดลการทำนายอายุของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟแบบ A คือ

$$TTF = 3.6544 \times 10^{-5} e^{[0.66851 / kT_{stripe}]}$$

และโมเดลการทำนายอายุของหัวอ่านแขียนแมกนีโทรีซิสทีฟแบบ B คือ

$$TTF = 8.8774 \times 10^{-6} e^{[0.7617428 / kT_{stripe}]}$$

เมื่อ TTF = เวลาของการประลัยของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ (ชั่วโมง)

k = ค่าคงที่โบลซ์มานซ์

T_{stripe} = ความร้อนที่เกิดขึ้นในแมกนีโทรีซิสทีฟ (K)

จากผลการทดสอบ Accelerated Electro-Migration ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟแบบ A และ แบบ B จะมีค่า Activation Energy (Ea) เท่ากับ 0.66851 และ 0.76174 eV ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Gangulee และ F.M.d' Heurle [10] ที่ทำการทดสอบ Accelerated Electro-Migration บนแผ่นฟิล์มเพอมัลลอยที่มีส่วนผสม 80% Ni และ 20% Fe ซึ่งเป็นวัสดุเดียวกับแมกนีโทรีซิสทีฟ ซึ่งได้ค่า Activation Energy (Ea) เท่ากับ 0.7±0.1 eV ดังนั้นแนวทางการดำเนินการทดสอบและโมเดลที่ได้มีความถูกต้อง

7.1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโมเดลการทำนายอายุของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ

1. ใช้ในการออกแบบและเลือกภาระกระแสไฟฟ้าตรง หรือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรง สำหรับหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดอุตสาหกรรม คือมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี ตัวอย่างเช่น หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟผลิตภัณฑ์ทั้งแบบ A และ แบบ B ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ภาระกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ แต่ถ้าทำการลดภาระกระแสไฟฟ้าตรงลงเหลือ 8 มิลลิแอมป์ จากรูป 5.6 และ 5.14 จะเห็นว่าอายุการใช้งานของหัวอ่านเขียนทั้งสองแบบจะสูงขึ้น ซึ่งแนวโน้มของการใช้ภาระกระแสไฟฟ้าตรงจะลดลง ในปัจจุบันบนผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นต้องลดลงเหลือ 5 มิลลิแอมป์ เพื่อให้ได้ความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดของอุตสาหกรรม

2. ใช้ในการหาความต้านทานสูงสุดของแมกนีโทรีซิสทีฟ และค่าต่ำสุดของสไตร์ฟของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ สำหรับอายุการใช้งาน 5 ปีหรือมากกว่า เพื่อใช้ในการออกแบบและออกข้อกำหนดในการผลิตหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟสำหรับอายุการใช้งาน 5 ปี ตามข้อกำหนดของอุตสาหกรรม

3. ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในระดับ HGA ในการนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากอายุการใช้งานขึ้นอยู่กับ Duty cycle ของหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ ดังนั้นควรเลือกหัวอ่านเขียนที่มีความต้านทานของแมกนีโทรีซิสทีฟไม่เกินค่าความต้านทานสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 5.9 และ 5.20 เพื่อให้ได้อายุการใช้งาน 5 ปี หรือมากกว่า

4. ใช้ในการเปรียบเทียบคุณภาพหัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟในเรื่องความเชื่อถือได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Activation Energy สูง อายุการใช้งานก็จะสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกันในช่วงความต้านทานเดียวกัน เนื่องจาก Activation Energy แสดงถึงความยากง่ายของการเกิด Electro-Migration ค่า Activation Energy สูง หมายถึงต้องใช้พลังงานสูงในการเคลื่อนย้ายอะตอม

5. ใช้ในการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ในเรื่องอายุการใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนวัสดุหรือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแมกนีโทรีซิสทีฟ เช่น กระแสไฟฟ้าตรงและขนาดมิติของแมกนีโทรีซิสทีฟ เป็นต้น

7.1.3 การประลัยที่เกิดขึ้นภายใต้การทดสอบ Accelerated Electro-Migration มีดังนี้

1. การเกิดความเสียหายบนแมกนีโทรีซิสทีฟ อันเนื่องมาจากอิเล็กโทรไมเกรชั่นมีลักษณะบวมหรือขาดจากกัน หรือความต้านทานสูงขึ้นทำให้คุณสมบัติทางสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปเป็นผลให้หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟทำงานอ่านข้อมูลผิดพลาด หรือไม่สามารถอ่านข้อมูลจากแผ่นดิสก์ได้ ทำให้หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟไม่สามารถใช้งานได้อีก ผลที่ตามมาฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถใช้งานได้

2. การเกิดออกซิเดชั่นของเพอมัลลอยที่เป็นวัสดุของแมกนีโทรีซิสทีฟและชิลด์ที่ระดับสภาวะการทำงาน (60 °C) และภายใต้สภาวะการทำงานที่สูง 140 °C และ 175 °C โดยมีแมกนีโทรีซิสทีฟที่เป็นแหล่งให้ความร้อน อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่บริเวณตรงกลางของแมกนีโทรีซิสทีฟ ดังนั้นการเกิดออกซิเดชั่นของเพอมัลลอยจะเกิดขึ้นบนแมกนีโทรีซิสทีฟแล้วแผ่ขยายไปรอบ ๆ บริเวณด้านข้างไปยังชิลด์ โดยมีจุดผ่านศูนย์กลางที่จุดกึ่งกลางของแมกนีโทรีซิสทีฟ การเกิดออกไซด์ที่ผิวของเพอมัลลอยของแมกนีโทรีซิสทีฟและชิลด์ทั้งสองเป็นผลทำให้คุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กลดลง

7.1.4 ปัญหาและข้อจำกัดของงานวิจัย

ข้อจำกัดทางด้านเวลาและทรัพยากร เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดสอบต้องใช้เวลานาน และจำนวนของตัวอย่างที่มีจำกัดและต้นทุนสูง ทำให้การทดสอบทำได้เพียงสองระดับอุณหภูมิคือ 140 °C และ 175 °C และทำการอนุมานด้วยวิธีการถดถอยแบบเส้นตรง เพื่อให้เกิดความแม่นยำสูงขึ้น ในการอนุมานควรเพิ่มการทดสอบที่อุณหภูมิในช่วงของสภาวะการทำงาน (60 °C) ด้วยภาระกระแสไฟฟ้าตรง 10 มิลลิแอมป์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดทางการผลิต หรืออยู่ในช่วง 80-120 °C เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้สมการและการอนุมานมีความแม่นยำสูงขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 สามารถนำแนวทางในการทดสอบ Accelerated Electro-Migration นี้ไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น เช่น Gian Magnetoresistive (GMR) หรือ Spin Valve โดยใช้ข้อกำหนดของการประลัย $\Delta R/R \geq 20\%$

7.2.2 เนื่องจากการทดสอบใช้เวลานาน ดังนั้นควรหาวิธีการทดสอบที่ใช้เวลาเร็วขึ้น แล้วทำการหาสหสัมพันธ์กับวิธีการทดสอบ Accelerated ในงานวิจัยนี้ เช่น การเพิ่มภาระกระแสไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้น 10-20% เป็นต้น

7.2.3 ควรศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรงกับเวลาการประลัย ซึ่งต้องมีการ Cross-section หัวอ่านเขียนแมกนีโทรีซิสทีฟ หลังจากการทดสอบ Accelerated Electro-Mirgration

7.2.4 ควรมีการศึกษาถึงระดับ Grain size และโครงสร้างของฟิล์ม เนื่องจากมีผลโดยตรงกับการเกิด Electro-Migration มีบางโครงสร้างที่ทนต่อ Electro-Migration ได้ดี เช่น Bamboo Structure เป็นต้น

7.2.5 ควรมีการศึกษาและใช้ Finite Element ในการทำ Simulation การทดสอบอิเล็กโทรไมเกรชั่น เพื่อทำนายอายุการใช้งาน ซึ่งจะลดเวลาและค่าใช้จ่ายลงมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย