บทที่ 1
บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ความรู้ทางฟิสิกส์ด้านสมบัติเชิงแม่เหล็ก (magnetic properties) ของวัสดุ เป็นความรู้สาขาหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์ เครื่องใช้ต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ทั้งนี้ในการนำความรู้ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ นักวิทยาศาสตร์ได้มีการศึกษาและวิจัยทั้งที่เป็นเชิงพื้นฐานทางฟิสิกส์ของวัสดุแม่เหล็กเพื่ออธิบายที่มาและกลไกพื้นฐานของความเป็นแม่เหล็ก และการวิจัยเชิงประยุกต์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุแม่เหล็กที่เหมาะสมในเชิงอุตสาหกรรมควบคู่กันไป ตัวอย่างเช่น การทำแม่เหล็กจากวัสดุที่มีความเป็นแม่เหล็กแรง (hard magnetic materials) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแม่เหล็กได้ยาก ต้องใช้วัสดุแม่เหล็กที่มีค่าสภาพแม่เหล็กตกค้าง (remanent magnetization) สูงซึ่งทำให้สามารถรักษาสภาพการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเนื่องจากการให้สนามแม่เหล็กภายนอกได้มาก และมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็ก (coercieve field) สูง ซึ่งต้องใช้สนามแม่เหล็กแรงในการทำลายความเป็นแม่เหล็ก (demagnetize) ของวัสดุ การทำแกนหม้อแปลงต้องเลือกวัสดุที่มีความเป็นแม่เหล็กอ่อน (soft magnetic materials) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพแม่เหล็กตกค้างและค่าสนามลบล้างแม่เหล็กต่ำ และการทำอุปกรณ์บันทึกแม่เหล็ก ต้องใช้วัสดุที่มีค่าสภาพแม่เหล็กตกค้างสูง และมีค่าสนามลบล้างแม่เหล็กที่เหมาะสม เพื่อลดพลังงานในการเขียนข้อมูลให้น้อยที่สุด เป็นต้น

การศึกษาสมบัติเชิงแม่เหล็กของวัสดุอย่างหนึ่งที่นิยมทำกันคือ การวัดค่าความเป็นแม่เหล็ก (magnetization) ของวัสดุและการสร้างวงฮิสเทอริซิสของวัสดุ โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของวัสดุนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น (Du Trémolet de Lacheisserie; Gignoux; & Schlenker. 2002: 446-453)

- แมกนิโทมิเตอร์แบบเกรเดียนต์กระแสสลับ (alternating current gradient magnetometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นแม่เหล็กของสารกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเมื่อสารตัวอย่างที่ติดอยู่กับไพอิโซอิเล็กทริกควอทซ์สั่นในสนามแม่เหล็ก
- แมกนิโทมิเตอร์แบบอุปกรณ์แทรกสอดทางควอนตัมของตัวนำยวดยิ่งที่ความถี่วิทยุ (radio frequency superconducting quantum interference device magnetometer, RF-SQUID) เป็นเครื่องมือที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็น

แม่เหล็กของสารกับกระแสเหนี่ยวนำในวงแหวนตัวนำยวดยิ่ง ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อเลื่อนตำแหน่งของสารตัวอย่างในขดลวดตัวนำ

- แมกนิโทมิเตอร์แบบตัวอย่างสั่น (vibrating sample magnetometer, VSM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นแม่เหล็กของสารกับความต่างศักย์ที่เหนี่ยวนำบนขดลวดเมื่อให้ตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กสั่นขึ้นลงภายในขดลวดนั้น

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างวงฮิสเทอริซิสนั้น ที่นิยมใช้มากในปัจจุบันคือ ระบบการวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็ก (magneto-optic Kerr effect, MOKE) ซึ่งสร้างวงฮิสเทอริซิสโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงของเคอร์ (Kerr intensity) หรือมุมการหมุนของเคอร์ (Kerr rotation, θ_K) ซึ่งเป็นมุมที่เปลี่ยนแปลงไปของระนาบการโพลาไรซ์ของแสงที่สะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็กตัวอย่างกับค่าสนามแม่เหล็กภายนอกที่ให้กับตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เทคนิค MOKE มีข้อได้เปรียบ คือมีต้นทุนต่ำ ใช้เวลาในการวัดน้อย สามารถวัดเฉพาะบริเวณที่สนใจได้ (local probe) เป็นเทคนิคการวัด ณ ตำแหน่งเดิม (in situ technique) ซึ่งสามารถวัดในขณะที่ทำการปลูกฟิล์มได้ และสามารถศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุในขณะที่ทำการให้สนามแม่เหล็กภายนอกได้ แต่เทคนิค MOKE มีข้อเสียเปรียบคือไม่สามารถวัดค่าสัมบูรณ์ (absolute value) ของความเป็นแม่เหล็กของวัสดุได้เนื่องจากเป็นการวัดความเข้มแสง ($\mathbf{I}$) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ามุมการหมุนของเคอร์ โดยที่มุมการหมุนของเคอร์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความเป็นแม่เหล็กของวัสดุ

ในประเทศไทยเครื่องมือที่ใช้วัดสมบัติเชิงแม่เหล็กของวัสดุมีน้อยมากและเป็นเครื่องมือที่ไม่ทันสมัย ประกอบกับทางศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติมีความประสงค์ที่จะมีเครื่องมือสำหรับวัดสมบัติเชิงแม่เหล็กของวัสดุไว้ประจำ ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ จ. นครราชสีมา เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับนักวิจัยทั่วไป ใช้ศึกษาสมบัติแม่เหล็กของสารแม่เหล็ก ดังนั้นจึงได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยให้ผู้วิจัยได้ศึกษาและสร้างเครื่องมือสำหรับวัดสมบัติทางแม่เหล็กของสารแม่เหล็กทั้งที่เป็นปริมาตร (bulk) และที่เป็นฟิล์มบาง (thin films) ด้วยเทคนิค MOKE ในอนาคตเครื่องมือนี้จะถูกพัฒนาเป็นระบบการวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กพื้นผิว (suface magneto-optic Kerr effect, SMOKE) ให้สามารถใช้วัดฟิล์มบางมากๆ (ultrathin films) ของสารแม่เหล็กในระบบสุญญากาศระดับสูงยิ่ง (ultrahigh vacuum, UHV) ซึ่งทำให้สามารถนำไปใช้ศึกษาสมบัติแม่เหล็กพื้นผิวของสารแม่เหล็กที่เป็นฟิล์มบางมากๆ ได้

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องมือวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็ก สำหรับศึกษาสมบัติเชิงแม่เหล็กของสารแม่เหล็กที่เป็นปริมาตรและสารแม่เหล็กที่เป็นฟิล์มบาง

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครื่องมือที่จะนำไปใช้สำหรับศึกษาสมบัติเชิงแม่เหล็กของสารแม่เหล็กทั้งที่เป็นปริมาตรและเป็นฟิล์มบาง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและติดตั้งชุดอุปกรณ์การวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ เพื่อสามารถวัดปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กแบบเชิงขั้วและแบบตามยาวของสารตัวอย่างที่เป็นปริมาตรและเป็นฟิล์มบาง

2. ออกแบบแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ MOKE ด้วยชุดคำสั่งเรเดีย (Radia code) และสร้างแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กในบริเวณที่วัดสารตัวอย่างได้ประมาณ 0.1 T โดยสนามแม่เหล็กต้องมีองค์ประกอบในทิศทางเดียวในบริเวณที่แสงตกกระทบผิวสาร

3. เขียนโปรแกรมแลปวิว (Labview) เพื่อทำการต่อประสาน (interface) อุปกรณ์ในระบบ ให้สามารถควบคุม รับส่งข้อมูล และประมวลผลได้โดยระบบคอมพิวเตอร์

4. ทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

1.5 นิยามศัพท์

1. ปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็ก หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์มีระนาบของการโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไป เมื่อสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็ก

2. ปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กพื้นผิว หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์มีระนาบของการโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไป เมื่อสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็ก เมื่อพิจารณาที่ขีดจำกัดของฟิล์มบางมากๆ (ultrathinfilms limit) (Yang; Scheinfein. 1993: 6811) ซึ่งมีค่าเป็น $2\pi|n_1|d_1 \ll \lambda$ โดย n_1 เป็นดัชนีหักเหของฟิล์มบางสารแม่เหล็ก d_1 เป็นความหนาของฟิล์ม และ λ เป็นความยาวคลื่นแสงที่ใช้ (You; Shin. 1998: 543)

3. ปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กแบบเชิงขั้ว (polar magneto-optic Kerr effect) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์มีระนาบของการโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไป เมื่อสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็กที่มีความเป็นแม่เหล็กในทิศตั้งฉากกับระนาบของผิว

4. ปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กแบบตามยาว (longitudinal magneto-optic Kerr effect) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์มีระนาบของการโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็กที่มีความเป็นแม่เหล็กในทิศขนานกับระนาบของผิวและระนาบของการตกกระทบ

5. ปรากฏการณ์ของเคอร์ด้านทัศนศาสตร์แม่เหล็กแบบตามขวาง (transverse magneto-optic Kerr effect) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์มีระนาบของการโพลาไรซ์เปลี่ยนแปลงไปเมื่อสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็กที่มีความเป็นแม่เหล็กในทิศขนานกับระนาบของผิวและตั้งฉากกับระนาบของการตกกระทบ

6. การหมุนของเคอร์ หมายถึง มุมระหว่างระนาบของการโพลาไรซ์ของแสงตกกระทบกับระนาบของการโพลาไรซ์ของแสงสะท้อนจากผิวของสารแม่เหล็ก

7. ความรีของเคอร์ (Kerr ellipticiy) หมายถึง มุมที่เกิดจากอาร์กแทนเจนต์ของอัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกนหลักกับองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวแกนรองซึ่งมีเฟสต่างกันในพิกัดคาร์ทีเซียน

8. สภาพแม่เหล็กตกค้าง หมายถึง ความเป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสารและยังคงเหลืออยู่หลังจากให้สนามแม่เหล็กปริมาณมากแล้วลดสนามแม่เหล็กจนเป็นศูนย์

9. สนามลบล้างแม่เหล็ก หมายถึง สนามที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าความเป็นแม่เหล็กจากค่าสภาพแม่เหล็กตกค้างให้เป็นศูนย์ โดยจะวัดจากขนาดของสนามที่ให้กับสารในขนาดเพียงพอที่จะกลับทิศความเป็นแม่เหล็กได้