

บทความวิจัย

# ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวาง ในฟิล์ม $\text{Co}_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

ทรงศักดิ์ พงษ์ศิริ\*  
\_\_\_\_\_

## บทคัดย่อ

สถานะความเป็นแม่เหล็กของวัสดุผสมขึ้นกับอัตราส่วนของสารแม่เหล็กที่เป็นส่วนประกอบภายใน การเพิ่มขึ้นของปริมาณโคบอลต์ผสมในสารตัวอย่าง  $\text{Co}_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  ตั้งแต่ 35-100% ส่งผลให้ ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นและมีลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การเกิดแมกเนไทเซชัน ของสารตัวอย่างสามารถพบในสนามแม่เหล็กอ้อมตัวที่ไม่เท่ากัน ปริมาณโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สนามอ้อม ตัวของสารตัวอย่างมีค่าลดลง โดยสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสมตั้งแต่ 66% ขึ้นไป สามารถพบการเกิด แมกเนไทเซชันในสนามแม่เหล็กที่ต่ำกว่า 0.94 kOe

คำสำคัญ: ทัศนศาสตร์แม่เหล็ก วัสดุแม่เหล็ก แมกเนไทเซชัน

# Transverse Magneto-Optical Kerr Effect in $\text{CoSiO}_2$

Songsak Phonghirun\*

---

## ABSTRACT

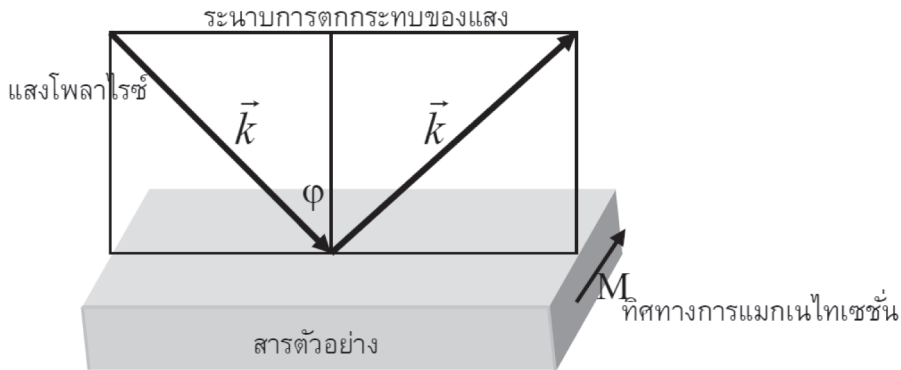
The magnetic properties of composite magnetic materials depend upon the composition of these materials. The dependence of the magneto-optical effect on the magnetic metal concentration ranging from 35% to 100% in the  $\text{CoSiO}_2$  samples was studied. The result showed that an increasing of magnetic components lead to the enhancement of the magneto-optical effect and exhibit different characters. Moreover, the magnetization of composite magnetic sample can be observed in different values of a magnetic field. The value of saturation field of composite material decreases with increasing the cobalt content. Their magnetization with a low magnetic field (less than 0.94 kOe) was observed at cobalt concentration above 66%.

**Keywords:** Magneto-optical effect, Magnetic materials, Magnetization

## บทนำ

สภาวะแม่เหล็กเฟอร์โร (Ferromagnetism) เป็นสภาวะจำเพาะอย่างหนึ่งของวัสดุแม่เหล็กจำพวกเหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) และนิกเกิล (Ni) แม่เหล็กเฟอร์โรเหล่านี้มีโครงสร้างมาจากโมเมนต์แม่เหล็กซึ่งรวมตัวกันเป็นโดเมนขนาดเล็กๆ ภายในซึ่งเกิดการแมกเนไทเซชัน (Magnetization) ในทิศทางเดียวกันของโมเมนต์แม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัว (Saturation magnetization) และทำให้ผลรวมของโมเมนต์แม่เหล็กไม่เป็นศูนย์ ลักษณะการเกิดแมกเนไทเซชันของสารแม่เหล็กได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง [1, 2] เพื่อพัฒนาคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของวัสดุแม่เหล็ก รวมไปถึงต่อยอดองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวัสดุในปัจจุบัน

การศึกษาระบวนการแมกเนไทเซชันหรือการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของสารนั้นสามารถศึกษาได้จากวงฮิสเทรีซิสของวัสดุ โดยสามารถวัดได้จากปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์ ซึ่งสามารถสร้างวงฮิสเทรีซิสโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการหมุนของเคอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากระนาบของการโพลาไรซ์ของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัสดุกับสนามแม่เหล็ก หรือใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กซึ่งสัมพันธ์กับการแมกเนไทเซชันของสารแม่เหล็กโดยตรง [3]



รูปที่ 1 ทิศทางการตกกระทบและการสะท้อนของแสงจากสารตัวอย่าง  
ในสนามแม่เหล็กที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบการตกกระทบของแสง

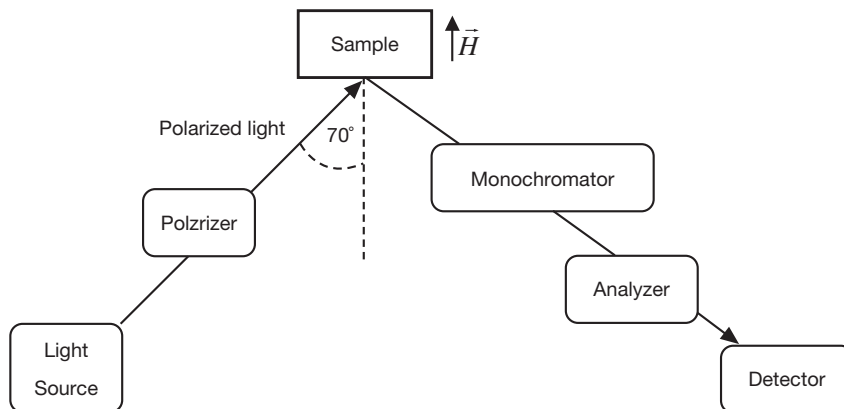
ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์คือปรากฏการณ์ที่แสงโพลาไรซ์ตกกระทบวัสดุแม่เหล็กและเกิดการเปลี่ยนแปลงระนาบของแสงเมื่อสะท้อนออกจากวัสดุภายใต้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก [3, 4] ซึ่งปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวาง (Transverse Kerr Effect, TKE) คือการกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กให้ขนานกับผิวของสารแม่เหล็กแต่มีทิศตั้งฉากกับระนาบของแสงโพลาไรซ์ที่ตกกระทบดังรูปที่ 1 โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาและสามารถศึกษาได้ในรูปของอัตราส่วนของค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพสะท้อนกับสภาพการสะท้อนของสารตัวอย่าง ( $\Delta R/R$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับความเข้มของแสงที่สะท้อนโดย  $\Delta R = I_H - I_{H=0}$  และ  $R = I_{H=0}$  ตามสมการ [5]

$$\delta = \frac{I_H - I_{H=0}}{I_{H=0}} \tag{1}$$

โดย  $I_H$  และ  $I_{H=0}$  คือความเข้มของแสงโพลาไรซ์ในสนามแม่เหล็กและไม่มีสนามแม่เหล็กตามลำดับ

### วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารแม่เหล็ก Co (โคบอลต์) บริสุทธิ์มาเป็นสารตัวอย่างโดยใช้การสังเคราะห์เป็นฟิล์มบางโดยวิธีการสปัตเตอร์ลำไอออนของอาร์กอน (Ion beam sputtering) บน  $\text{SiO}_2$  ในกระบวนการสังเคราะห์สารตัวอย่างจะทำการเพิ่มปริมาณโคบอลต์ (x) จาก 35-100% จากการควบคุมระยะระหว่างเป้าและฐาน ซึ่งจะได้สารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ผสมต่างกัน จากนั้นนำสารตัวอย่างที่ได้มาแบ่งตัดให้ได้ขนาดประมาณ 1 ซม. × 1 ซม. และคำนวณอัตราส่วนของโคบอลต์ตามช่วงระยะสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์แตกต่างกันตั้งแต่ 37% 48% 53% 60% 66% 74% และ 100% ถูกนำเข้าสู่กระบวนการวัดทางทัศนศาสตร์แม่เหล็ก [6, 7] ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือวัดทางทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์

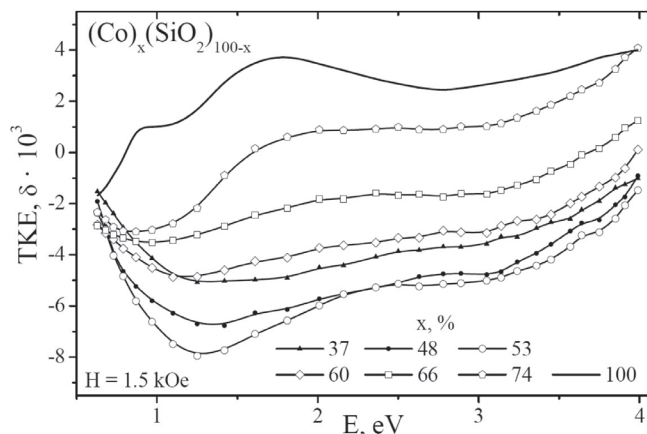
เครื่องมือวัดประกอบด้วยชุดอุปกรณ์เครื่องกำเนิดแสงจากหลอดฮาโลเจนกำลัง 80 วัตต์เป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยแสงจากหลอดฮาโลเจนจะให้ค่าพลังงานของแสงในช่วง 0.4-4.2 eV จากนั้นลำแสงจากหลอดฮาโลเจนจะถูกโฟกัสโดยเลนส์นูนและทำให้โพลาไรซ์โดยผ่านโพลาไรเซอร์ (Polarizer) แสงโพลาไรซ์จะตกกระทบกับสารตัวอย่างที่มีลักษณะมันวาวสะท้อนแสงได้ดีและวางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่ความเข้มสูงสุดประมาณ 1.5 kOe โดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าขนาด 5 แอมแปร์ให้กับขดลวดโซลินอยด์ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ทิศทางของแมกเนโทเซชันเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็กถูกบังคับให้ขนานกับพื้นผิวของสารตัวอย่างและตั้งฉากกับระนาบการตกกระทบของแสงโพลาไรซ์

แสงโพลาไรซ์ที่ตกกระทบพื้นผิวของสารตัวอย่างที่มุม  $70^\circ$  ดังรูปที่ 2 จะสะท้อนออกจากสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องโมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) เพื่อที่จะทำการคัดเลือกช่วงพลังงานของแสงในแต่ละช่วงคลื่น แสงที่ถูกคัดเลือกช่วงพลังงานออกมาจะผ่านตัววิเคราะห์ (Analyzer) และตกกระทบเข้าเซนเซอร์รับแสง ซึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมและสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้า โดยจะสามารถนำไปหาอัตราส่วนของค่าการเปลี่ยนแปลงสภาพสะท้อนกับสภาพการสะท้อนของสารตัวอย่างได้ จากนั้นทำการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กจาก 0-1.5 kOe และวัดการสะท้อนของแสงเพื่อศึกษาลักษณะการเกิดแมกเนโทเซชันของสารตัวอย่าง

## ผลการทดลอง

### สมบัติทางทัศนศาสตร์แม่เหล็ก

สมบัติทางทัศนศาสตร์แม่เหล็กหาได้จากอัตราส่วนการสะท้อนของแสงจากสารตัวอย่างในสนามแม่เหล็กตามสมการที่ (1) ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็ก (Magneto-optical effect) ของเคอร์แบบตามขวางและพลังงานของแสงในช่วง 0.4-4.2 eV ของสารแม่เหล็ก  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  ที่ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 1.5 kOe โดยมีมุมตกกระทบของแสงโพลาไรซ์  $70^\circ$  บนผิวของสารตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวาง (TKE) และพลังงาน (E) ในแต่ละความยาวคลื่นแสง ของสารแม่เหล็ก  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

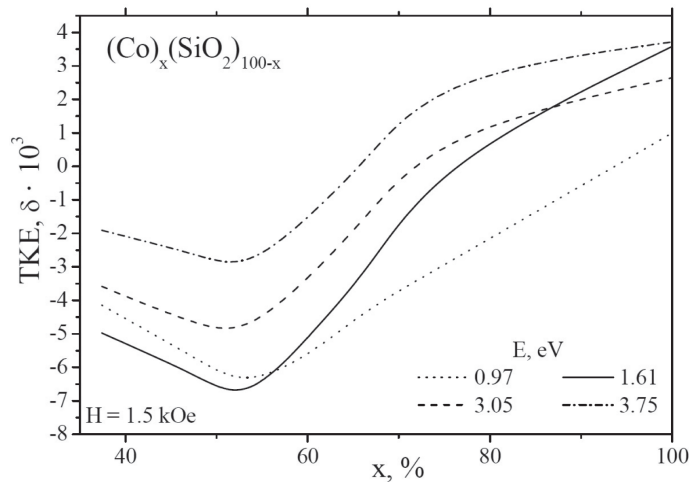
การสะท้อนของแสงโพลาริซจากสารตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของโคบอลต์ตั้งแต่ 37-100% ในสนามแม่เหล็กขนาด 1.5 kOe ส่งผลให้สัญญาณ TKE ที่ได้มีค่าแตกต่างกันในทุกช่วงความยาวคลื่นแสง โดยสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ในช่วง 37-53% จะมีลักษณะของ TKE ที่คล้ายกันและมีค่า  $\delta$  ที่ใกล้เคียงกันในช่วงพลังงาน 0.63 eV และ 3.99 eV นอกจากนี้ยังพบว่า  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่าง และพบค่า  $\delta$  ที่สูงในช่วงพลังงาน 1.25-1.42 eV โดยสามารถวัดค่า  $\delta$  สูงสุดมีขนาดเท่ากับ  $-7.96 \times 10^3$  ในสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์เป็นส่วนประกอบ 53% ที่พลังงาน 1.25 eV

สารตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของโคบอลต์มากกว่า 53% จะมีลักษณะของสัญญาณ TKE ที่แตกต่างกัน ซึ่งเห็นได้ชัดในช่วงพลังงานที่มากกว่า 1.10 eV โดยมีลักษณะของ TKE ที่เพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ต่ำกว่า 53% เมื่อปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่างเพิ่มขึ้น 60% ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของ TKE ในช่วงพลังงาน 1.42-2.50 eV และเมื่อปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น 66% และ 74% สามารถพบลักษณะของ TKE ที่แตกต่างกันชัดเจนในช่วงพลังงาน 1.42-2.01 eV โดยเฉพาะสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสม 74% สามารถพบการเปลี่ยนทิศของ  $\delta$  ในช่วงพลังงานมากกว่า 1.61 eV ขึ้นไป

สำหรับสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยโคบอลต์บริสุทธิ์ 100% สามารถพบสัญญาณ TKE ที่มีค่าสูงและมีความแตกต่างจากสารตัวอย่างอื่นชัดเจน โดยโคบอลต์บริสุทธิ์มีค่า  $\delta$  สูงสุดเท่ากับ  $3.80 \times 10^3$  ที่พลังงาน 1.81 eV และสัญญาณ TKE มีการเปลี่ยนทิศตั้งแต่ช่วงพลังงาน 0.87 eV ขึ้นไป โดยลักษณะและค่า  $\delta$  ของ TKE ที่พบได้สูงในสารตัวอย่างนี้สามารถแสดงถึงลักษณะของการตอบสนองของแสงที่กระทำกับสารตัวอย่างที่เป็นแม่เหล็กเฟอร์โรที่ดี นอกจากนี้ จากการเปรียบเทียบลักษณะของ TKE ในสารตัวอย่างทั้งหมดพบว่ามีความสอดคล้องกับปริมาณโคบอลต์ที่เป็นส่วนประกอบ โดยการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของโคบอลต์ในสารตัวอย่างส่งผลให้ลักษณะของ TKE เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เข้าใกล้และคล้ายคลึงกับลักษณะของ TKE ในโคบอลต์บริสุทธิ์ โดยเฉพาะในสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์สูง

การเพิ่มขึ้นของปริมาณโคบอลต์ที่เป็นส่วนประกอบในสารตัวอย่างทำให้ลักษณะของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กมีค่าแตกต่างกันไป โดยเฉพาะค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงสูงสุดที่มีค่าแตกต่างกันในแต่ละช่วงพลังงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาวะแม่เหล็กบนผิวของสารตัวอย่างและส่งผลให้มีการสะท้อนของแสงโพลาริซสูงสุด

ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวาง และปริมาณโคบอลต์ ( $\text{Co}$ )<sub>x</sub> ในสารตัวอย่างที่ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 1.5 kOe แสดงในรูปที่ 4



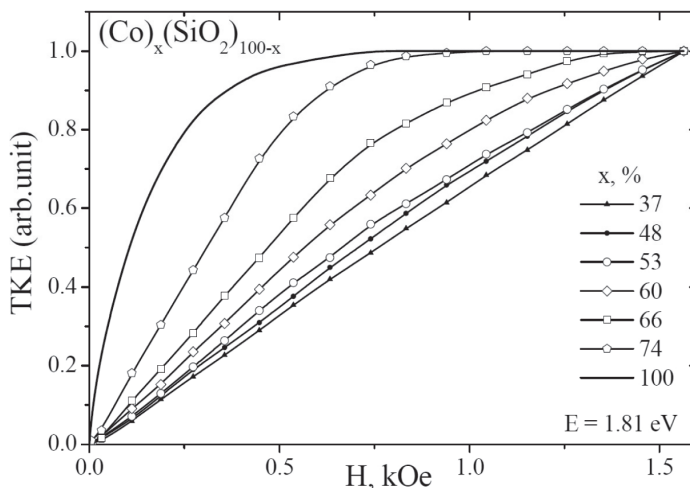
**รูปที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวาง (TKE) และปริมาณโคบอลต์ (x) ในสารตัวอย่าง  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

การเพิ่มขึ้นของปริมาณโคบอลต์ในสารแม่เหล็กผสม  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  ส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่สะท้อนจากสารตัวอย่างที่อยู่ในสนามแม่เหล็กมีค่าแตกต่างกันในทุกช่วงพลังงาน โดยจากความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กและปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่างพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกช่วงความยาวคลื่นแสง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่มีพลังงานตั้งแต่ 0.97 eV, 1.61 eV, 3.05 eV และ 3.75 eV มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้นจาก 37% ไปจนถึง 53% โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงเกิดมากที่สุดในช่วงพลังงาน 1.61 eV โดยค่าสูงสุดพบในสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสม 53% และเมื่อปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้นทำให้สัญญาณ TKE เกิดการเปลี่ยนทิศทางที่พลังงานตั้งแต่ 1.61 eV ขึ้นไป

#### สมบัติทางแม่เหล็ก

เส้นโค้งความเป็นแม่เหล็ก (Magnetization curve) ของสารตัวอย่าง  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  ที่มีอัตราส่วนปริมาณโคบอลต์ 37-100% แสดงในรูปที่ 5 โดยจากรูปแสดงถึงความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวางในหน่วย Arbitrary unit (TKE (arb. unit)) กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ตั้งแต่ 0-1.5 kOe ที่พลังงานของแสง 1.81 eV



**รูปที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของคอร์แบบตามขวาง หน่วยหนึ่ง (Arbitrary unit) และความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H)

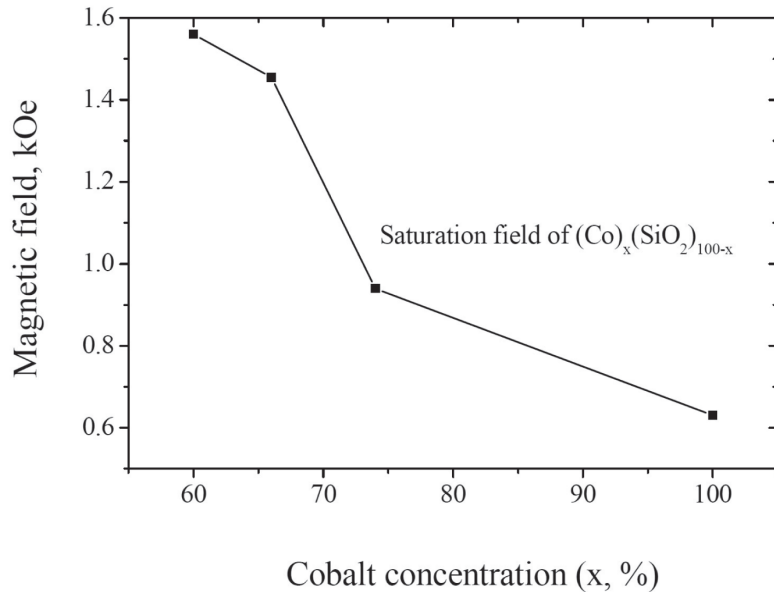
การเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กในสารตัวอย่างที่มีส่วนผสมของโคบอลต์ต่างกันสามารถพบเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กที่มีลักษณะต่างกันชัดเจน โดยเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่สะท้อนจากสารตัวอย่างที่ขึ้นกับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กภายนอกที่มาเหนี่ยวนำในทิศทางขนานกับผิวแต่มีทิศตั้งฉากกับระนาบของแสงโพลาไรซ์ โดยสำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ 37% ความสัมพันธ์จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงและยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวทางแม่เหล็กของสารตัวอย่างที่สนามแม่เหล็ก 1.5 kOe ซึ่งเป็นความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงสุดในการทดลอง เมื่อปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้นเป็น 48% สามารถสังเกตความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเพียงเล็กน้อยที่สนามแม่เหล็กตั้งแต่ 0.83 kOe เป็นต้นไปแต่ยังไม่พบการอิ่มตัวเมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุด สารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ 53% จะมีลักษณะเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กมากขึ้นที่สนามแม่เหล็กตั้งแต่ 0.74 kOe เป็นต้นไป แต่ยังไม่เกิดการอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กที่ 1.5 kOe เช่นเดียวกับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ต่ำกว่า

เมื่อปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 60% สามารถพบลักษณะความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงกับสนามแม่เหล็กที่มีความโค้งมากขึ้นที่สนามแม่เหล็กตั้งแต่ 0.63 kOe โดยสามารถสังเกตจุดอิ่มตัวทางแม่เหล็กของสารตัวอย่างที่สนามแม่เหล็ก 1.5 kOe เมื่อปริมาณโคบอลต์ในสารตัวอย่างเพิ่มขึ้น 66% สามารถพบลักษณะของเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างได้ชัดเจนที่สนามแม่เหล็ก 0.63 kOe และเกิดสนามอิ่มตัว (Saturation field) ของสารตัวอย่างอยู่ที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.45 kOe

เมื่อโคบอลต์เพิ่มขึ้นถึง 74% ในสารตัวอย่าง ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงกับสนามแม่เหล็กแสดงลักษณะของความเป็นเส้นโค้งได้ชัดเจน โดยเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กมีจุดเริ่มต้นที่สนามแม่เหล็กประมาณ 0.45 kOe และเมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้น สารตัวอย่างจะเกิดความ เป็นแม่เหล็กที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กประมาณ 0.94 kOe และสำหรับสารตัวอย่างที่ประกอบ



ด้วยโคบอลต์บริสุทธิ์ 100% สามารถแสดงลักษณะเฉพาะของความเป็นแม่เหล็กของเฟอร์โรแมกเนติกได้เป็นอย่างดี [8] โดยสามารถสังเกตสนามอิ่มตัวอยู่ที่ 0.63 kOe ซึ่งการลดลงของสนามแม่เหล็กอิ่มตัวนั้นสัมพันธ์กับปริมาณโคบอลต์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 60% ขึ้นไปในสารตัวอย่าง [9] ดังแสดงในรูปที่ 6



**รูปที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation field) และ ปริมาณโคบอลต์ (x) ในสารตัวอย่าง  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กจากการสะท้อนของแสงในสารตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กสามารถแสดงถึงกระบวนการในการเกิดแมกเนโทเซชันของสารตัวอย่างได้ โดยขณะที่สนามแม่เหล็กภายนอกมีค่าเป็นศูนย์ โมเมนต์แม่เหล็กภายในสารจะเรียงตัวกันในทิศทางที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้ความเข้มของแสงที่สะท้อนจากสารตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงต่ำ สำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์สูงตั้งแต่ 60% เป็นต้นไป การเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำจะทำให้โมเมนต์เหล็กของโคบอลต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารตัวอย่างเกิดการเรียงตัวไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กมากขึ้นจนทำให้เกิดการขยายตัวของขอบเขตโดเมนแม่เหล็ก (Magnetic domain) ซึ่งความกว้างของขอบเขตโดเมนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กจนถึงจุดอิ่มตัวของสารตัวอย่าง โมเมนต์แม่เหล็กภายในสารจะเรียงตัวกันในทิศทางของสนามแม่เหล็กทั้งหมด ขอบเขตโดเมนมีการขยายตัวขึ้นเป็นบริเวณกว้างทำให้การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงมีค่าสูง ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กให้มีค่าสูงมากขึ้นต่อไป การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงจะมีค่าคงที่เนื่องมาจากโมเมนต์แม่เหล็กภายในสารไม่สามารถเรียงตัวไปในทิศทางอื่นได้นอกจากนี้ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่มาเหนี่ยวนำ เช่นเดียวกับลักษณะที่พบในสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ตั้งแต่ 66% ขึ้นไปในการทดลอง

สำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ต่ำจะยังไม่พบการเกิดแมกเนไทเซชันของสารตัวอย่างได้ เนื่องจากปริมาณของโคบอลต์ที่มีอยู่น้อยทำให้การเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กในโคบอลต์เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอและมีการขยายตัวของขอบเขตโดเมนแม่เหล็กในบริเวณแคบ ดังนั้นการเกิดแมกเนไทเซชันของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ต่ำอาจต้องใช้ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงกว่าในการทดลอง

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการใช้วิธีการทางทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์แบบตามขวางศึกษาสมบัติของสารแม่เหล็กผสม  $(\text{Co})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  โดยเพิ่มปริมาณโคบอลต์ (x) ตั้งแต่ 37% 48% 53% 60% 66% 74% และ 100% สามารถพบปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์ของสารตัวอย่างที่มีลักษณะแตกต่างกันในสนามแม่เหล็กสูงสุด 1.5 kOe

สำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ต่ำตั้งแต่ 37-53% ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณโคบอลต์ในทุกช่วงพลังงานของแสง โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่สูงในช่วงพลังงาน 1.25-1.42 eV และสามารถวัดค่า  $\delta$  สูงสุดเท่ากับ  $-7.96 \times 10^3$  ที่พลังงาน 1.25 eV ในสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสม 53% นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่าในทุกช่วงพลังงานของแสงตั้งแต่ 0.63-3.99 eV สัญญาณ TKE ของสารตัวอย่างที่ผสมโคบอลต์ 53% จะมีค่ามากที่สุด สำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์สูงกว่า 53% จะเกิดการเปลี่ยนแปลง สัญญาณ TKE ในทิศทางตรงข้ามเมื่อปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสม 74% สามารถพบการเปลี่ยนทิศทางของสัญญาณ TKE ในช่วงพลังงานสูงกว่า 1.61 eV ซึ่งมีลักษณะของ TKE ที่ใกล้เคียงกับสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์บริสุทธิ์ 100% ปริมาณโคบอลต์ที่แตกต่างกันในสารตัวอย่างที่มีสารแม่เหล็กผสมส่งผลให้ลักษณะของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหรือผลสะท้อนของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์นี้ ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน (electronic transition) ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะเฉพาะทางแม่เหล็กของสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ที่ต่างกัน โดยสามารถศึกษาได้จากการสะท้อนของแสงโพลาไรซ์ [10] ในสารตัวอย่าง

จากการศึกษาลักษณะการเกิดแมกเนไทเซชันของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ต่ำกว่า 53% พบว่า การเพิ่มขึ้นของสนามแม่เหล็กจาก 0-1.5 kOe ยังไม่สามารถทำให้สารตัวอย่างเกิดการอิ่มตัวทางแม่เหล็กได้ เส้นความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์ 35% ถึง 53% มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ยังไม่แสดงถึงจุดอิ่มตัวที่สนามแม่เหล็กสูงสุด 1.5 kOe โดยลักษณะความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่เป็นเส้นตรงแสดงถึงจำนวนโมเมนต์แม่เหล็กในโคบอลต์ซึ่งมีปริมาณต่ำและการขยายตัวของขอบเขตโดเมนแม่เหล็กในบริเวณแคบ การเพิ่มขึ้นของโคบอลต์ในสารตัวอย่าง 60% สามารถสังเกตเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กโดยมีจุดอิ่มตัวของสนามแม่เหล็กที่ประมาณ 1.5 kOe และสำหรับสารตัวอย่างที่มีโคบอลต์ผสมมากกว่า 66% สามารถพบลักษณะของเส้นโค้งความเป็นแม่เหล็กได้อย่างชัดเจน โดยมีสนามอิ่มตัวอยู่ที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กประมาณ 1.45 kOe นอกจากนี้ยังพบว่าการแมกเนไทเซชันของสารสามารถพบในสนามแม่เหล็กที่มีค่าลดลง 0.94 kOe และ 0.63 kOe สำหรับสารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้น 66% และ 100% ตามลำดับ

การศึกษาค่าความเป็นแม่เหล็กของสารจากปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์พบว่า สารตัวอย่างที่มีปริมาณโคบอลต์สูงสามารถเกิดแมกเนโทเซชันอิมตัวได้ในสนามแม่เหล็กที่ต่ำ เนื่องจากมีจำนวนโมเมนต์แม่เหล็กในปริมาณที่สูงและทำให้เกิดการเรียงตัวกันของโมเมนต์แม่เหล็กในทิศทางเดียวกันมากขึ้นเมื่อสารตัวอย่างอยู่ในสนามแม่เหล็กและมีการขยายตัวของโดเมนแม่เหล็กได้ในบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นลักษณะการเกิดแมกเนโทเซชันของวัสดุที่มีสารแม่เหล็กประเภทเฟอร์โรเป็นส่วนประกอบ [11]

การใช้ปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กของเคอร์ในการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กบนผิวของสารตัวอย่างที่ต่างชนิดกันสามารถพบคุณลักษณะที่แตกต่างกันไปในแต่ละสาร สมบัติทางแม่เหล็กของสารแม่เหล็กแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกันสามารถสะท้อนออกมาในรูปของปรากฏการณ์ทัศนศาสตร์แม่เหล็กสามารถนำไปวิเคราะห์และศึกษาถึงความกว้างของพลังงานในแถบดี (d-band) และการโพลาไรเซชันของสปินของอิเล็กตรอน (electron spin polarization) ของสารต่อไป [12]

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2555 ผู้วิจัยขอขอบคุณ Professor Dr.Elena Ganshina ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลืออย่างสม่ำเสมอ

### เอกสารอ้างอิง

1. Fabrizio, M., Selina, Y. T., Floriana, T. and Edward, Lester. 2013. Magnetic Properties of Cobalt Oxide Nanoparticles Synthesised by a Continuous Hydrothermal Method. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 348: 1-7.
2. Shiro, E., Manabu, K., Susumu, I. and Koichiro S. 2005. Magnetic Properties of Ultrathin Cobalt Films on SiO<sub>2</sub> Substrates. *Thin Solid Films* 493: 221-225.
3. Zvezdin, A. K., and Kotov, V. A. 1997. Modern Magneto-optics and Magneto-optical Materials: Studies in Condensed Matter. London. Institute of Physics Pub. p. 40.
4. Krinchick, G. S. 1985. *Physika Magnitnykh Yavlenia*. Moscow. MSU. p. 294.
5. Krinchick, G. S., and Kosturin, A. A. 1980. *Magneto-optika*. Moscow. Znanie. p. 59.
6. Buravtsova, V. E., Gushchin, V. S., Kalinin, Yu. E., Kirov, S. A., Lebedeva, E. V., Phonghirun, S., Sitnikov A. V., Syr'ev, N. E. and Trofimenko, I. T. 2004. Magneto-optical Properties and FMR in Granular Nanocomposites (Co<sub>84</sub>Nb<sub>14</sub>Ta<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>100-x</sub>. *Central European Journal of Physics* 2(4): 566-578.
7. Vyzulin, V. A., Buravtsova, V. E., Gushchin, V. S., Ganshina, E. A., Kalinin, Yu. E., Lebedeva, E. V., Sitnikov, A. V., Syriev, N. E. and Phonghirun, S. 2006. Magnetic and Magneto-Optical Properties of Ferromagnetic-Ferroelectric Nanocomposites, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 70(7): 075-1078.

8. Phonghirun, S. 2011. The Study on Transverse Magneto-Optical Kerr Effect in Ferromagnetic. *Srinakharinwirot Science Journal* 27(1): 145-154. (in Thai).
9. Denisova, E.A., Iskhakov, R.S., Stolyar, S.V., Komogortsev, S.V., Chekanova, L.A., Maltsev, V.K., Kalinin, Yu.E. and Sitnikov, A.V. 2011. Exchange Interaction in the Co-SiO<sub>2</sub> Nanocomposite Films. *Solid State Phenomena* 168: 265-268.
10. Visnovsky, S. 2006. Optics in Magnetic Multilayers and Nanostructures. New York. CRC Press. p. 317.
11. Jiles, D. 1991. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials. New York. Chapman and Hall. p. 107.
12. Erskine, J. and Stern E. 1973. Magneto-Optic Kerr Effect in Ni, Co and Fe. *Physical Review Letter*. 30(26): 1329-1332.

ได้รับบทความวันที่ 15 พฤษภาคม 2557  
ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 14 สิงหาคม 2557