

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2556

โครงการวิจัยรหัส ว-ท(ด)10.56

การออกแบบและสร้างแมกนีโตมิเตอร์แบบเกรเดียนท์สลับสำหรับตรวจวัด
สมบัติแม่เหล็กของวัสดุนาโน

Design and construction of alternating gradient magnetometer for magnetic properties
characterization of nanomaterials

⁽¹⁾พงศกร จันทรรัตน์

⁽¹⁾Pongsakorn Jantaratana

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ แมกนีโตมิเตอร์แบบเกรเดียนท์สลับ (AGM) สำหรับใช้ตรวจวัดสมบัติแม่เหล็กของวัสดุที่มีขนาดเล็กหรือมีโมเมนต์แม่เหล็กต่ำถูกออกแบบและสร้างขึ้น โดยเครื่องกำเนิดแม่เหล็กไฟฟ้าใช้อุปกรณ์ของ Lake Shore Cryotronics รุ่น EM4-HVA ซึ่งมีความสามารถในการสร้างสนามแม่เหล็กสูงสุด 2 T สนามแม่เหล็กเกรเดียนท์สร้างโดยขดลวดสองขดรีดมี 23 mm พันสวนทิศทางการใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 42 SWG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.102 mm จำนวน 644 รอบต่อขด สามารถสร้างสนามแม่เหล็กเกรเดียนท์ได้ 150 Oe.cm^{-1} ใช้เครื่องขยายสัญญาณแบบ ล็อก-อิน จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ความถี่เรโซแนนซ์ให้กับเครื่องขยายสัญญาณและส่งต่อให้กับขดลวดเกรเดียนท์อีกต่อหนึ่ง ระบบตรวจวัดการสั่นประกอบด้วยแท่งแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 mm ยาว 60 mm ผนึกติดกับแผ่น PZT ด้วยกาวอีพ็อกซี่ แผ่น PZT ถูกยึดติดกับแท่งอลูมิเนียมขนาด 13 mm ซึ่งยึดติดกับแขนกลโดยใช้สกรู ระบบตรวจวัดการสั่นสามารถขยับได้ในทิศทางแกน xyz เมื่อใช้งาน ตัวอย่างจะถูกยึดติดกับปลายแท่งแก้วด้วย vacuum grease และจัดตำแหน่งให้อยู่กึ่งกลางของขดลวดเกรเดียนท์ด้วยแขนกล การทำงานของเครื่อง AGM ที่สร้างขึ้นจะถูกควบคุมโดยโปรแกรม VEE OneLab ซึ่งจะสแกนหาความถี่เรโซแนนซ์ของระบบตรวจวัดการสั่นและดำเนินการวัดค่าแมกนีโตเซชันของตัวอย่างเพื่อแสดงผลเป็นกราฟฮิสเทอรีซิสพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ Excel ตรวจวัดค่าคงตัวความไวของระบบที่สร้างขึ้นโดยใช้ทรงกลม yttrium iron garnet (YIG) ของ NIST รุ่น SRM 2853 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm มวล 2.812 mg โมเมนต์แม่เหล็ก 27.6 emu.g^{-1} ที่สนามแม่เหล็กภายนอก 5 kOe ได้ค่าคงตัวความไว $0.7367 \text{ V.emu}^{-1}.\text{Oe}^{-1}$ ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ทรงกลม निकิลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ของ Lake Shore Cryotronics รุ่น 651-465 พบว่าความไม่แน่นอนของเครื่อง AGM ที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.06247% ความสามารถในการวัดค่าซ้ำเท่ากับ 0.001082 emu ซึ่งคิดเป็น 0.43% ของค่าแมกนีโตเซชันเฉลี่ยที่ 5 kOe และมีความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.47% จากผลที่ได้ชี้ว่าเครื่อง AGM ที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ในการวิจัยและการให้บริการตรวจวัดสมบัติทางแม่เหล็กต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : แมกนีโตมิเตอร์แบบเกรเดียนท์สลับ ขดลวดเกรเดียนท์ แมกนีโตเซชัน

ABSTRACT

In this work, an alternating gradient magnetometer (AGM) for measuring magnetization of small or weak ferromagnetic samples was design and constructed. The electromagnet of Lake Shore Cryotronics Inc. model EM4-HVA having capacity to generate 2 T of DC magnetic field was used. The gradient magnetic field was produced by a pair of coils 23 mm in radius reversely wound 644 turns with 42 SWG Cu wire having diameter of 0.102 mm. The coils were capable to generate an AC gradient field of 150 Oe.cm^{-1} . A log-in amplifier was used to supply electric current at the resonance frequency through the amplifier to the coils. The vibration detection system consisted of a glass rod 0.7 mm in diameter and 60 mm in length fixed to the PZT with epoxy glue. The PZT was attached to the 13 mm diameter aluminum rod which was then fasten to a mechanical arm by a set of screws. The vibration detection system could be adjusted in the xyz direction to position the sample in magnetic fields. To operate the AGM, the sample was attached to the tip of the glass rod using vacuum grease and then positioned at the center of the coils with aids of the mechanical arm. The operation was controlled by the VEE OneLab software by which the resonance frequency of the vibrating system was firstly scanned. The magnetization of the sample was then measured and the outputs were presented in forms of hysteresis curves as well as digital file in Excel format. The sensitivity constant of the AGM was measured with the yttrium iron garnet (YIG) sphere of NIST model SRM 2853; 1 mm in diameter, 2.812 g of mass, and 27.6 emu.g^{-1} of magnetic moment. The sensitivity was found to be $0.7367 \text{ V.emu}^{-1}.\text{Oe}^{-1}$ under the external magnetic field of 5 kOe. The efficiency of the system was estimated by using the standard nickel sphere 1 mm in diameter of Lake Shore Cryotronics Inc. model 651-465. The uncertainty of 0.06247%, the repeatability of 0.001082 emu equivalent to 0.43% of average magnetization at 5 kOe of external magnetic field, and the linearity of 0.47% were assessed. According to the results, the AGM being constructed could be used as a prototype for further development to the scale suitable for research and service in the future.

Key words : Alternating gradient magnetometer, Gradient coil, Magnetization

(1) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ บางเขน

(1) Department of Physics, Faculty of Science