

13. ตัวต้านทานแมกนีโต (magnetoresistor)

13.1 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซีในเซรามิกส์เฟอร์โรแมกเนติก

บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซีในสาร $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซีในสาร $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ ด้วยคอมพิวเตอร์

Abstract

Magnetoresistance effect of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ material was tested with computer.

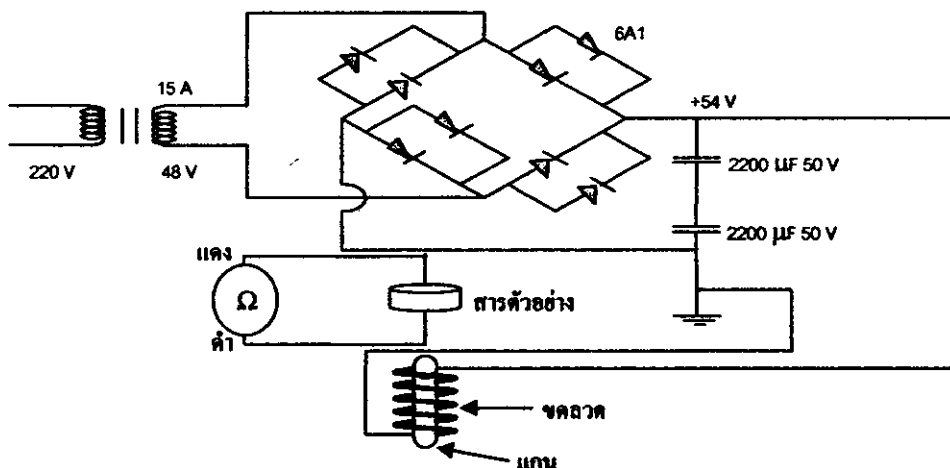
Key words : magnetoresistance material

คำนำ

จุ (Ju) ที่ศูนย์กลางหน่วยวิจัยสภาพการนำไฟฟ้ายิ่งยวด ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยแมริแลนด์ ได้ศึกษาปรากฏการณ์ของแมกนีโตริซิสแดนซีใหญ่ (Giant manetoresistance(GMR) effect) ในเซรามิกส์ $0.7La_2O_3+0.6SrCO_3+2MnO_2$ ได้คำนวณอัตราส่วนแมกนีโตริซิสแดนซี [Magneto resistance (MR) ratio] ซึ่งมีนิยามดังสมการ $[R(O)-(R(H))/R(H=O)]$ เมื่อ R(O)เป็นความต้านทานศูนย์ (Zero magnetic field) และ R(H) เป็นความต้านทานสนามแม่เหล็ก(Magnetetic field) (JU 1995)

วิธีการทดลอง

1) ประกอบเครื่องทำสนามแม่เหล็กความแรงสูงตามรูป 13.1.1 หม้อแปลงจะแปลงแรงดัน 220 V ให้เป็น 48 V แรงดันไฟฟ้าสลับ 48 V ผ่านขดลวดที่ต่อแบบบริดจ์ เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าตรง 48 V ใช้ตัวเก็บประจุ 2200 μF 2 ตัวเพื่อกรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบหรือคงที่มากขึ้น



รูปที่ 13.1.1 เครื่องทำสนามแม่เหล็กความแรงสูง

2) วัดและคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ทดลองจากสูตร $B = \mu_0 \mu_r NI / 2L$

สภาพราบซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศซึ่งเป็นค่าคงที่ ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am

สภาพราบซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r) ที่เปิดจากตารางในหนังสือ = 5000 (แกนเหล็ก)

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ (I) = 4.5 A (วัดด้วยมัลติมิเตอร์)

ความยาวของแกนของขดลวด (L) = 6×10^{-12} m

ความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำ (R) = 12.76 Ω (วัดด้วยโอห์มมิเตอร์)

เส้นผ่าศูนย์กลางของขดที่วัดได้ (d) = 0.6×10^{-3} m

พื้นที่หน้าตัดของขดลวด (A) = $\pi d^2 / 4 = 2.28 \times 10^{-7}$ m²

สภาพต้านทานไฟฟ้าของขดลวดทองแดง (ρ) = 1.7×10^{-8} Ω m (เปิดดูจากตารางในหนังสือ)

ความยาวของเส้นลวดของขดลวด (L) หาได้จากสูตร $L = RA/\rho = 171.13$ m

ความยาวของขดลวด 1 รอบ = $2\pi r = 2(22/7)(3.1 \times 10^{-2} \text{ m}) = 19.485 \times 10^{-2}$ m

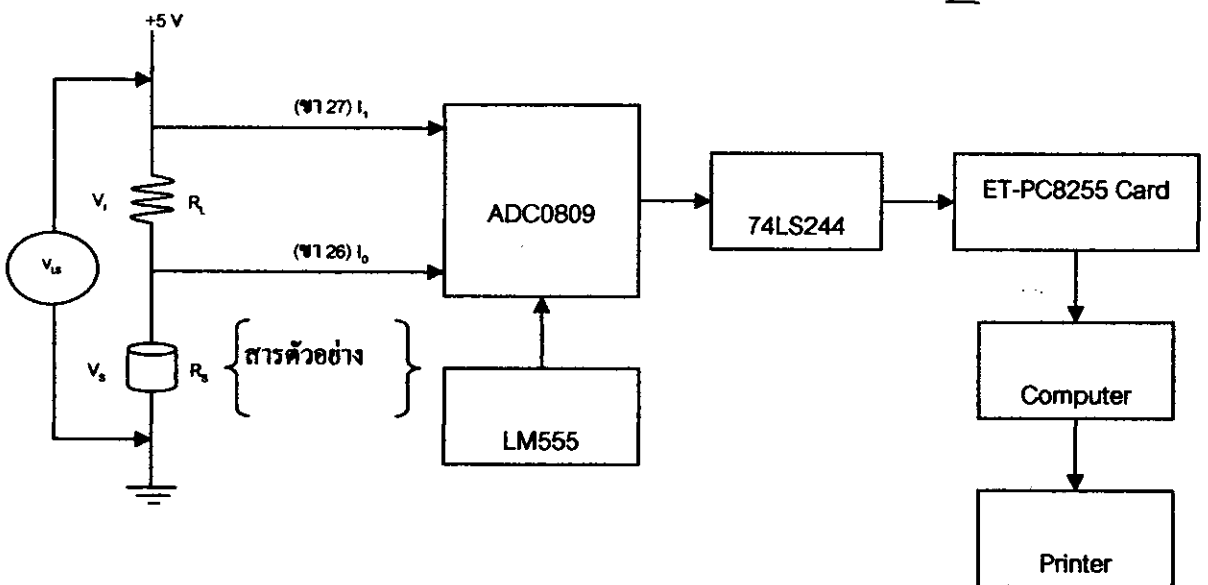
จำนวนรอบของขดลวด (N) หาได้โดยการนำความยาวของขดลวดทั้งหมด (L) หารด้วยความยาว

ของขดลวด 1 รอบ $N = (171.13 \text{ m}) / (19.485 \times 10^{-2} \text{ m}) = 898$ รอบ

สนามแม่เหล็กสามารถคำนวณได้จากสูตร $B = \mu_0 \mu_r NI / 2L$ ดังนี้

$B = [(4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}) (5000) (898 \text{ turns}) (4.5 \text{ A})] / (2 \times 6 \times 10^{-2} \text{ m}) = 2.07 \times 10^2 \text{ Wb/m}^2$

3) ประกอบวงจรเชื่อมต่อรูปที่ 13.1.2



รูปที่ 13.1.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงความต้านทานการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์
สำหรับการสาธิตการเกิดปรากฏการณ์แมกนีโตรีซิสแตนซ์

4) เขียนโปรแกรมสำหรับให้คอมพิวเตอร์อ่านความต้านทานไฟฟ้าของสารที่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ยุคและได้รับรับสนามแม่เหล็ก

5) สั่ง Run บันทึกผล

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ของสาร $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ หรือ $0.7\text{La}_2\text{O}_3+0.6\text{SrCO}_3+2\text{MnO}_2$ ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ $B = 0.73 \text{ mWb/m}^2$ พบว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (V) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสาร (I) และความต้านทานของสาร (R) ที่คำนวณมาจาก V/I มีค่าดังตาราง

ก่อนป้อนสนามแม่เหล็ก ($B=0$) ความต้านทาน (resistance, R) = 7.25 ohm

ขณะป้อนสนามแม่เหล็ก ($B=0.73 \text{ mWb/m}^2$) ความต้านทาน (resistance, R) = 7.04 ohm

วิเคราะห์การทดลอง

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ของสาร $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ จะนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหัววัดสนามแม่เหล็ก

สรุปการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ของสาร $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ พิสิทธ์วิมลคุณิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

[Http://www.Ett.co.th](http://www.Ett.co.th), Manual of ET-PC8255 card, 2005-2007.

13.2 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ไดโอดเรียงกระแส

บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ในไดโอด 1N4001 ด้วยโปรแกรมแลปวิว

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ¹ และ น.ส. อ้อมใจ พรหมรักษ์²

Thongchai Panmatarith¹ and Omjai Promrak²

¹M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., ²Physics student, Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแดนซ์ในไดโอด 1N4001 ด้วยโปรแกรมแลปวิว

Abstract

Magnetoresistance effect of diode 1N4001 was tested with computer.

Key words : magnetoresistance material

คำนำ

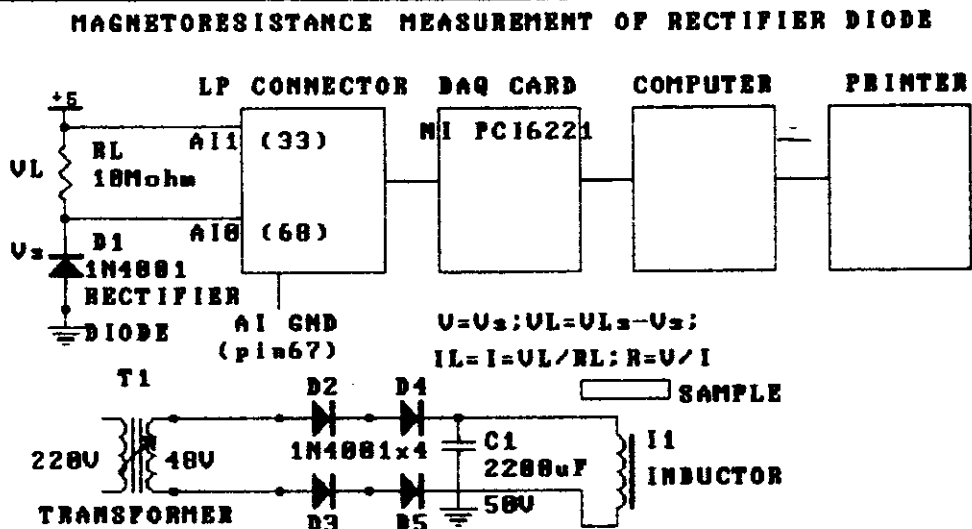
จู(Ju) ที่ศูนย์กลางหน่วยวิจัยสภาพการนำไฟฟ้ายิ่งยวด ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยแมริแลนด์ ได้ศึกษาปรากฏการณ์ของแมกนีโตริซิสแดนซ์ใหญ่ (Giant manetoresistance(GMR) effect) ในเซรามิกส์

$0.7\text{La}_2\text{O}_3 + 0.6\text{SrCO}_3 + 2\text{MnO}_2$ ได้ค่านวณอัตราส่วนแมกนีโตริซิสแตนซ์ [Magnetoresistance (MR) ratio] ซึ่งมีนิยามดังสมการ $[R(O)-(R(H))/R(H=0)]$ เมื่อ $R(O)$ เป็นความต้านทานศูนย์ (Zero magnetic field) และ $R(H)$ เป็นความต้านทานสนามแม่เหล็ก (Magnetetic field) (JU 1995)

วิธีการทดลอง

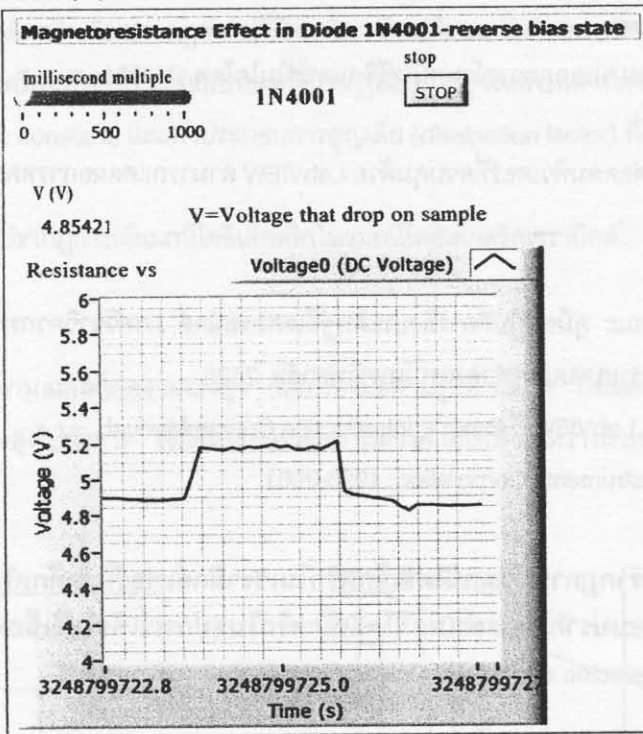
จัดวงจรดังรูปที่ 13.2.1 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 V ไหลผ่าน $R_L = 10\text{ M}\Omega$ และ ไดโอด 1N4001 ในลักษณะไบอัสกลับ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_L และไดโอดเท่ากับ V_L และ V_s เมื่อ $V_L = V_s = V_L$ ให้แรงดันไฟฟ้า V_s และ V_L เข้า AI0 และ AI1 ของ LP connector ผ่าน DAQ Card (PCI 6221) เข้าไปในคอมพิวเตอร์ ใช้สูตร $V_L = V_L - V_s$; $I_L = V_L / R_L$; $I_s = I_L$; $R = V_s / I_s$ บ่อยสนามแม่เหล็ก $B = 0.73\text{ mWb/m}^2$ ให้แก่สาร บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของไดโอด

Front Panel และ Block Diagram แสดงดังรูปที่ 13.2.2 DAQ Assistant ทำหน้าที่อ่านแรงดันไฟฟ้า V Amplitude and Level Measurements ทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Mean (DC) แสดงแรงดันไฟฟ้าด้วย Numeric Indicator และ Graph Indicator Millisecond Multiple เป็นเวลาหน่วง Stop Button เป็น numeric control ทำหน้าที่เปิดปิดสวิตช์ While Loop ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานที่ซ้ำๆกัน สั่ง RUN เพื่อแสดงผลทั้งหมด สั่งพิมพ์ Front Panel และ Block Diagram ออกทาง Printer

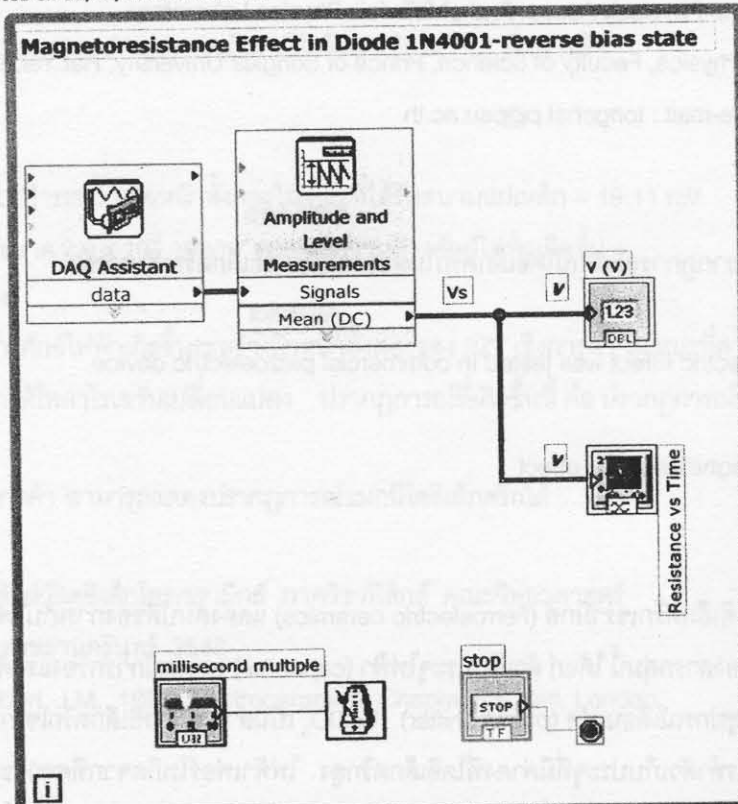


รูปที่ 13.2.1 การจัดชุดการทดลองสำหรับการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแตนซ์ในไดโอด 1N4001

Th-Diode-MR-reverse-Vdrop.vi
 D:\0-0a LV III á 00á ÁĐÇÑ' áĐ' Õè 2 #\Th-Diode-MR-reverse-Vdrop.vi
 Last modified on 12/12/2006 at 8:23 AM
 Printed on 12/12/2006 at 8:23 AM



Th-Diode-MR-reverse-Vdrop.vi
 D:\0-0a LV III á 00á ÁĐÇÑ' áĐ' Õè 2 #\Th-Diode-MR-reverse-Vdrop.vi
 Last modified on 12/12/2006 at 8:23 AM
 Printed on 12/12/2006 at 8:23 AM



รูปที่ 13.2.2 Front Panel และ Block Diagram สำหรับการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตรีซิสแตนซ์
 ในไดโอด 1N4001 ด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตรีซิสแตนซ์ในไดโอด 1N4001 ด้วยโปรแกรมแลปวิวแสดงดังรูปที่ 13.2.2

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตรีซิสแตนซ์ในไดโอด 1N4001

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตรีซิสแตนซ์ในไดโอด 1N4001

เอกสารอ้างอิง

ดุสิต เครื่องงาม และคณะ คู่มือปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2525

[Http:// www.ni.com](http://www.ni.com), LabVIEW™ Basic I. Introduction Course Manual,

National Instruments Corporation, 1993-2001.

13.3 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในเซรามิกส์เฟอร์โรอิเล็กทริก

บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Magnetolectric effect test in commercial piezoelectric device

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกเชิงการค้า

Abstract

Magnetolectric effect was tested in commercial piezoelectric device

Key words : magnetolectric effect

บทนำ

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) BaTiO_3 เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกและนำไปการทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) BaTiO_3 มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากนี้

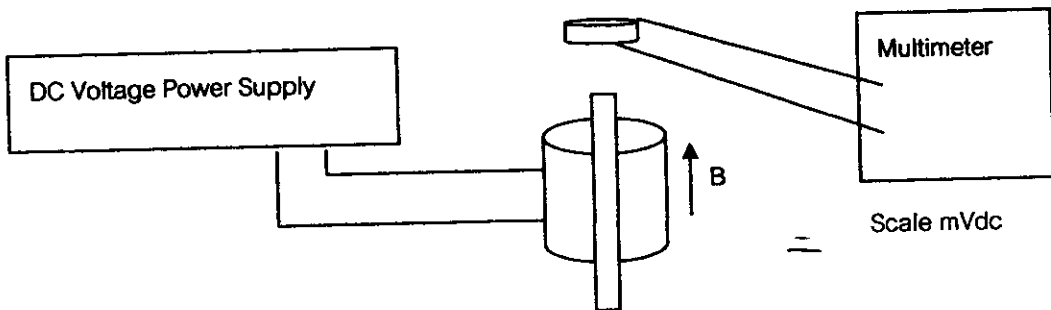
ผ่านการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) จะเพิ่มขึ้น การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลของการโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริก คือ ปรากฏการณ์ที่โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารอยู่ในสนามแม่เหล็ก Ligin Zhou ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $\text{Sr}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{TiO}_3$ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) ที่ความสัมพันธ์กับความถี่ (frequency)

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกในแมกนีโตอิเล็กตริกเซรามิกส์

วัตถุประสงค์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูง จัดเครื่องมือตามรูปที่ 13.3.1 ป้อนสนามแม่เหล็กจากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กความแรงสูงไปยังสาร ใช้มัลติมิเตอร์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 13.3.1 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกใน PZT เซิงการค้ำ

ผลการทดลอง

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างผิวหน้าทั้งสองในขณะที่ได้รับสนามแม่เหล็ก = 19.11 mV

เมื่อให้สนามแม่เหล็กที่มีขนาด 2.9×10^{-2} Wb/m² พบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ PZT เซิงการค้ำ ในขณะที่สารได้รับสนามแม่เหล็กเกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ คือ ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริก

สรุปผลการทดลอง

สาร PZT เซิงการค้ำ สามารถแสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กตริกได้

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธเมธาฤทธิ์ พิสิศักดิ์วุฒิสกุลโตระเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990, Electroceramics, Chapman & Hall, London.

บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในสาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ ด้วยโปรแกรมแลบวิว

Magnetoelectric effect test in $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ material LabVIEW Program

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกใน สาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ ด้วยโปรแกรมแลบวิว

Abstract

Magnetoelectric effect was tested in $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ material with LabVIEW Program

Key words : magnetoelectric effect

บทนำ

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) $BaTiO_3$ เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก และนำไปการทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) $BaTiO_3$ มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากที่มีการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) จะเพิ่มขึ้น การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลของการโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารอยู่ในสนามแม่เหล็ก Ligin Zhou ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $Sr_{0.7}Ba_{0.3}TiO_3$ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) และตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) ที่ความสัมพันธ์กับความถี่ (frequency)

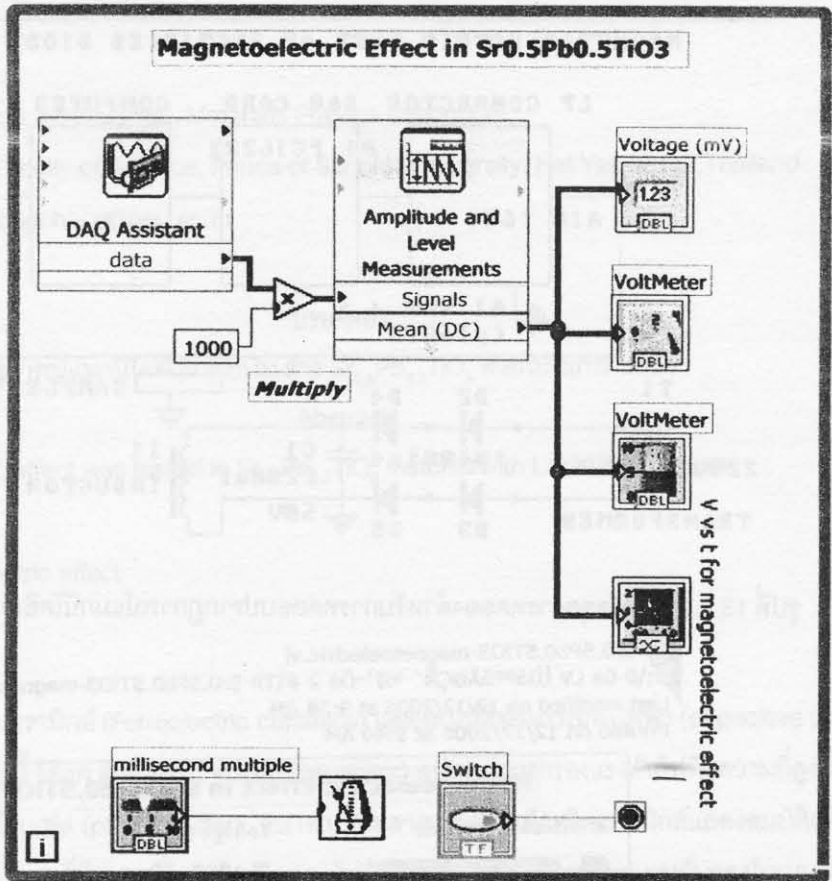
บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกในแมกนีโตอิเล็กทริกเซรามิกส์

วิธีการทดลอง

จัดวงจรดังรูปที่ 13.3.2 ปลดอยสนามแม่เหล็ก $B = 0.73 \text{ mWb/m}^2$ ให้แก่สาร มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างผิวบนและผิวล่างของสาร ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า V นี้ เข้า AI0 ของ LP connector ผ่าน DAQ Card (PCI 6221) เข้าไปในคอมพิวเตอร์ ให้แสดงกราฟความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

Front Panel และ Block Diagram แสดงดังรูปที่ 13.3.3 DAQ Assistant ทำหน้าที่อ่านแรงดันไฟฟ้า V ใช้ Multiply x1000 ขยายแรงดันไฟฟ้านี้แล้วส่งมาที่ Amplitude and Level Measurements เพื่อทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Mean (DC) แสดงแรงดันไฟฟ้าด้วย Numeric Indicator และ Graph Indicator Millisecond Multiple เป็น

\Th-Sr0.5Pb0.5TiO3-magnetolectric.vi
 Last modified on 12/12/2006 at 9:38 AM
 Printed on 12/12/2006 at 9:40 AM



รูปที่ 13.3.3 Front Panel และ Block Diagram สำหรับการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก
 ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกใน สาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ แสดงดังรูปที่ 13.3.3

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริกใน สาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง
โพลาริเซชันกับสนามแม่เหล็ก

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์-
แมกนีโตอิเล็กทริกใน สาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์ พิสิทธ์วิสต์ดุอิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

Http:// www.ni.com, LabVIEW™ Basic I. Introduction Course Manual,

National Instruments Corporation, 1993-2001.

Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990, Electroceramics, Chapman & Hall, London.

13.4 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในเซรามิกส์เฟอร์โรอิเล็กตริก
บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์เพื่อโซลิต์อิเล็กตริกเชิงการค้า
, Magnetoimpedance effect test in commercial piezoelectric device

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์สารเพียโซอิเล็กตริกเชิงการค้า

Abstract

Magnetoimpedance effect was tested in commercial piezoelectric device

Key words : Magnetoimpedance effect

บทนำ

ความต้านทานไฟฟ้าตรง (DC electric resistance) ของตัวเก็บประจุไฟฟ้าในทางอุดมคติมีค่านันต์ แต่ในทางปฏิบัติความต้านทานไฟฟ้าตรงมีค่าจำกัด R_L ความต้านทานไฟฟ้าตรงของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบแผ่นขนานที่มีพื้นที่หน้าตัด A และระยะระหว่างแผ่นขนาด L มีค่าดังสมการ

$$R_L = \frac{\rho L}{A}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า (C) กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) แสดงดังสมการ

$$C = \epsilon A/L = \epsilon_0 \epsilon_r A/L ; \epsilon_r = 1 + \chi_e$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัด d เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของสาร L เป็นความหนาของสาร และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า ปริมาณในวงจรไฟสลับ ได้แก่ Z , G , C , D , Q , ϵ_r และ χ_e เมื่อ Z เป็นอิมพีแดนซ์ (impedance), G เป็นความนำไฟฟ้า (conductance), C เป็นความจุไฟฟ้า (capacitance), D เป็นตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor), Q เป็นตัวประกอบคุณภาพ (quality factor), ϵ_r เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

การค้นพบไฟฟ้าเฟอร์โร (ferroelectricity) ใน BaTiO_3 ในปี ค.ศ. 1940 นำไปสู่การทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (high dielectric constant capacitor) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้าซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความสมมาตรของผลึก (crystal symmetry) ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วคู่ไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลารไรเซชันที่เกิดขึ้นเอง (spontaneously polarized region) ที่มีโพลารไรเซชันทิศทางเดียวกันเรียกว่า โดเมน (domain) ความสัมพันธ์ของการจัดเรียงตัวของโดเมนหนึ่งถูกควบคุมโดยความสมมาตรของผลึก วัสดุในกลุ่ม BaTiO_3 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ ใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบเซรามิกส์ (ceramic capacitor) โพลารไรเซชันที่เกิดขึ้นเองสามารถเรียงตัวขนานกันกับขอบของหน่วยเซลล์ โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนาม

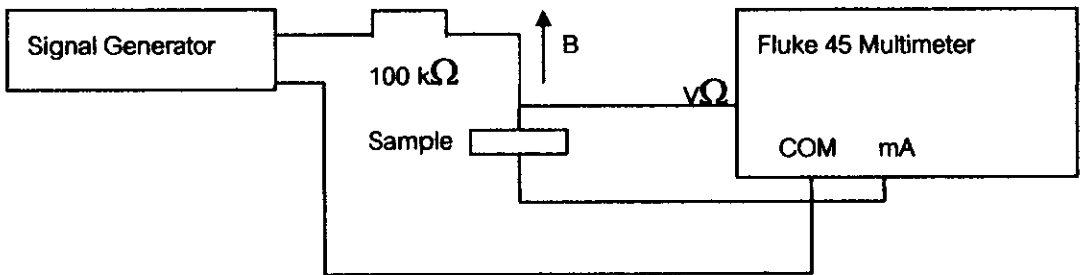
ไฟฟ้าแรงสูง (high electric field) หลังจากที่เราผ่านการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจะเปลี่ยนแปลง การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ที่พบใน $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ คือ ปรากฏการณ์ที่อิมพีแดนซ์ของสารมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่อยู่ในสนามแม่เหล็กภายนอก

บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในอุปกรณ์เพียโซอิเล็กตริกเชิงการค้า

วัตถุประสงค์และวิธีการ

สร้างเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูง จัดเครื่องมือทดลองตามรูปที่ 13.4.1 จ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ (f) ที่ค่าหนึ่งจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน 100 kΩ บิเวณสนามแม่เหล็ก B จากเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กแรงสูงไปยังสาร ใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า (i) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของสาร คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ด้วยสูตร $Z = V/i$ บันทึก Z และ B



รูปที่ 13.4.1 การจัดเครื่องมือสำหรับศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ใน PZT-เชิงการค้า

ผลการทดลอง

การคำนวณสนามแม่เหล็ก (B) ที่ใช้ทดลองจะใช้สูตร

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r NI}{2L} \quad \text{Wb/m}^2 \quad \text{_____ (1)}$$

เมื่อ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$ $\mu_r = 1400 \text{ Wb/Am}$ N = จำนวนของขดลวด I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน = 4.2 A และ L = ความยาวของขดลวด

หาค่า L

$$R = \frac{\rho L}{A} \rightarrow L = \frac{RA}{\rho}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$L = \sigma RA \rightarrow A = \frac{L}{\sigma R}$$

ซึ่ง $d = 1.25 \text{ mm}$, $R = 12.9 \Omega$, $r = 20.10 \text{ mm}$, $\sigma = 2.37 \times 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

$$A = \frac{L}{\sigma R} = \frac{1.23 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{4}$$

$$L = (2.37 \times 10^6 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1})(12.9 \Omega)(1.23 \times 10^{-6} \text{ m}^2)$$

$$L = 37.6 \text{ m}$$

$$N = \frac{\text{ความยาวของลวด } L}{\text{ความยาวของลวด/รอบ}} = \frac{L}{2\pi r} = \frac{37.6 \text{ m}}{2\pi(20.10 \text{ mm})} = 297.72 \text{ รอบ}$$

แทนค่า ในสมการ (1) จะได้สนามแม่เหล็กที่ใช้ทดลองดังสมการ

$$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am})(1400 \text{ Wb/Am})(297.72 \text{ turns})(4.2 \text{ A})}{2(37.6 \text{ m})} = 2.9 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2$$

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์โดยการไม่ป้อนและป้อนสนามแม่เหล็กแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารที่บันทึกได้แสดงดังสมการ

$$\text{เมื่อ } B = 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 92.38 \text{ mV}, I = 0.8 \mu\text{A} \rightarrow Z = 115.48 \text{ M}\Omega$$

$$\text{เมื่อ } B \neq 0 \text{ Wb/m}^2 \rightarrow V = 69.77 \text{ mV}, I = 0.9 \mu\text{A} \rightarrow Z = 77.52 \text{ M}\Omega$$

เมื่อป้อนสนามแม่เหล็กให้แก่สาร อิมพีแดนซ์ของสารจะมีค่าลดลง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อใช้สนามแม่เหล็กขนาด $2.9 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2$ ป้อนให้แก่ PZT จึงการค่า พบว่าอิมพีแดนซ์มีค่าลดลง แสดงว่ามีปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์เกิดขึ้น การที่อิมพีแดนซ์มีค่าลดลงเกิดจากสนามแม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนมีการเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

สาร PZT จึงการค่า แสดงปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์ พิสิทธ์วิมลคูเล็ก ไตรเชรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

Buchanan Relva, C., 1991, Ceramic materials for electronics, Second edition, Merceel Dekker Inc.,
New York.

บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ ด้วยโปรแกรมแลปวิว
Magnetoimpedance effect test in $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ material

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ ด้วยโปรแกรมแลปวิว

Abstract

Magnetolectric effect was tested in $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ material with LabVIEW Program.

Key words : magnetoelectric effect

บทนำ

สารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric ceramics) แสดงสมบัติของการเก็บไฟฟ้า (capacitive property) การประยุกต์ใช้ของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor) อุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter) และอุปกรณ์เลื่อนเฟส (phase shifter) BaTiO_3 เป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์แสดงสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก และนำไปการทำตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ไฟฟ้าเฟอร์โรเกิดจากทิศทางขนานกันของโมเมนต์ขั้วไฟฟ้า (electric dipole moment) บริเวณที่มีโพลาริเซชัน (polarization) ทิศทางเดียวเรียกว่า โดเมน (domain) BaTiO_3 มีโครงสร้างผลึกแบบเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure) โดเมนจะโตขึ้นเมื่อสารได้รับสนามไฟฟ้าแรงสูง หลังจากที่ผ่านมาการโพลิง (poling) พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) จะเพิ่มขึ้น การมีโพลาริเซชันค้างในสารเนื่องจากผลของการโพลิงสามารถพิจารณาได้จากวงการล้าเฟอร์โรอิเล็กทริก (ferroelectric hysteresis loop)

ปรากฏการณ์แมกนีโตอิเล็กทริก คือ ปรากฏการณ์ที่โพลาริเซชันเปลี่ยนแปลงในขณะที่สารอยู่ในสนามแม่เหล็ก Ligin Zhou ในประเทศจีน ได้เตรียมตัวเก็บประจุแบบหลายชั้น $\text{Sr}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{TiO}_3$ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) และตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) ที่ความสัมพันธ์กับความถี่ (frequency)

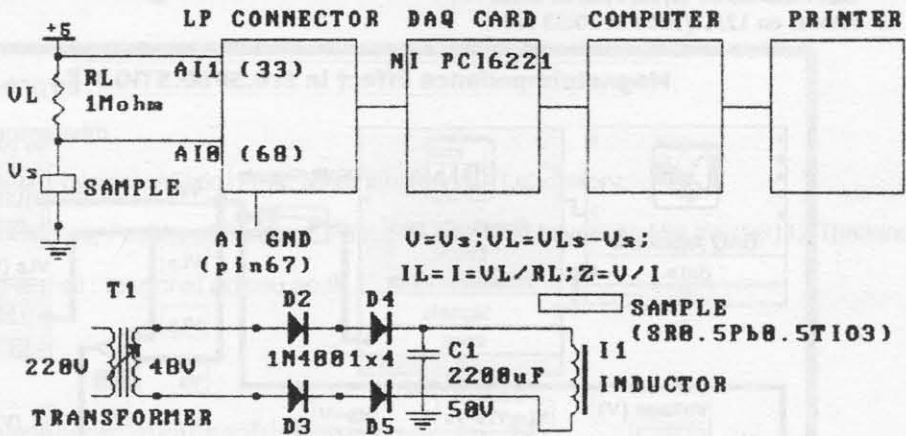
บทความนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$

วิธีการทดลอง

จัดวงจรดังรูปที่ 13.4.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน $RL=1\text{ M}\Omega$ และ R_s (ความต้านทานของสาร) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากับ V_L และ V_s เมื่อ $V_L=V_s+V_L$ ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า V_s และ V_L เข้า $A10$ และ $A11$ ของ LP connector ผ่าน DAQ Card (PCI 6221) เข้าไปในคอมพิวเตอร์ คำนวณ $V_L=V_Ls-V_s$; $I_L=V_L/RL$; $I_s=I_L$ $Z=V_s/I_s$ ปล่อยสนามแม่เหล็ก $B = 0.73\text{ mWb/m}^2$ ให้แก่สาร ให้แสดงเส้นโค้งอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา

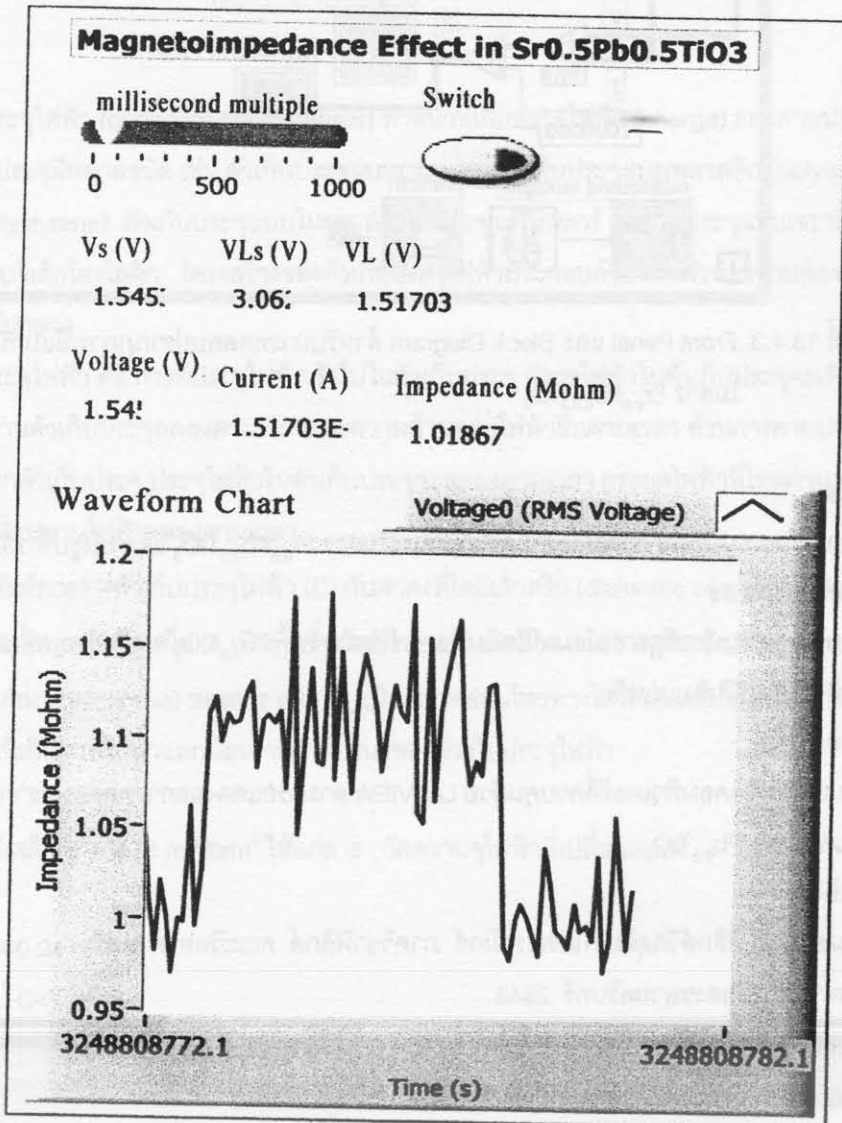
Front Panel และ Block Diagram แสดงดังรูปที่ 13.4.3 DAQ Assistant ทำหน้าที่อ่านแรงดันไฟฟ้า V_s และ V_L มาที่ Amplitude and Level Measurements เพื่อให้ทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Rms Split Signal ทำหน้าที่แยก V_s และ V_L ออกจากกัน $V_L=V_Ls-V_s$ ด้วย Subtract $I=I_L=I_s=V_L/RL$ ด้วย Divide 1000000; คำนวณอิมพีแดนซ์ด้วย Divide และใช้สูตร $Z=V_s/I_s=V/I$ แปลงหน่วยของอิมพีแดนซ์จาก Ω มาเป็น $\text{M}\Omega$ แสดงค่า V_s , V_L , I , อิมพีแดนซ์ (Z) เป็นตัวเลขด้วย Numeric Indicator แสดงอิมพีแดนซ์ (Z) ที่ขึ้นกับเวลา (t) เป็นกราฟด้วย Waveform Chart Millisecond Multiple เป็นเวลาหน่วย Stop Button เป็น numeric control ทำหน้าที่เปิดปิดสวิตช์ While Loop ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานที่ซ้ำๆกัน สั่ง RUN เพื่อแสดงผลทั้งหมด สั่งพิมพ์ Front Panel และ Block Diagram ออกทาง Printer

MAGNETOIMPEDANCE MEASUREMENT OF RECTIFIER DIODE

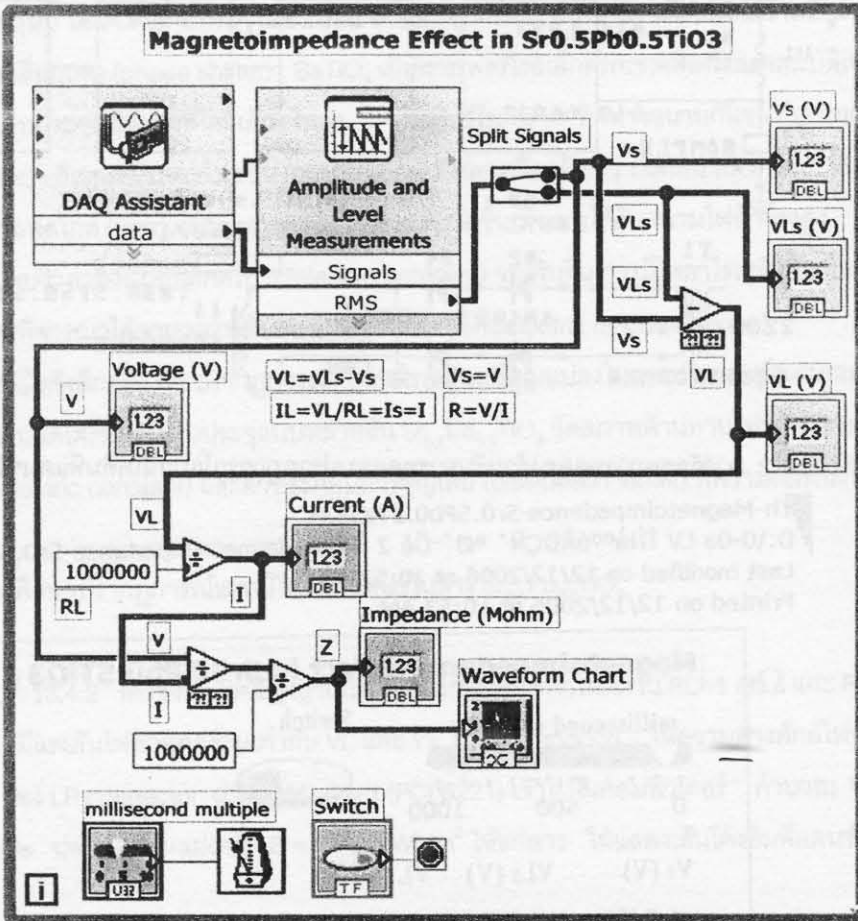


รูปที่ 13.4.2 การจัดชุดการทดลองสำหรับการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$

Th-Magnetoimpedance-Sr0.5Pb0.5TiO3.vi
 D:\0-0a LV ÍííáóóáÀÐÇÑ' ¢Ø´Òè 2 #\Th-Magnetoimpedance-Sr0.5Pb0.5Ti
 Last modified on 12/12/2006 at 10:52 AM
 Printed on 12/12/2006 at 10:53 AM



Th-Magnetoimpedance-Sr0.5Pb0.5TiO3.vi
 D:\0-0a LV iiiiiiiiiiii\Th-Magnetoimpedance-Sr0.5Pb0.5TiO3.vi
 Last modified on 12/12/2006 at 10:52 AM
 Printed on 12/12/2006 at 10:53 AM



รูปที่ 13.4.3 Front Panel และ Block Diagram สำหรับการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ แสดงดังรูปที่ 13.4.3

วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$ จะเป็นข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงไฟฟ้ากับสมบัติเชิงแม่เหล็ก

สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงผลการทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตอิมพีแดนซ์ในสาร $\text{Sr}_{0.5}\text{Pb}_{0.5}\text{TiO}_3$

เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์ พิสิทธ์วัสศุดิเล็กโตรเซรามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548

[Http:// www.ni.com](http://www.ni.com), LabVIEW™ Basic I. Introduction Course Manual,

National Instruments Corporation, 1993-2001.

13.5 การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตคาปาซิแตนซ์ในสาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ บทความ การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตคาปาซิแตนซ์ในสาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

ได้ทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตคาปาซิแตนซ์สาร $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$

Abstract

Magnetocapacitance effect of $Sr_{0.5}Pb_{0.5}TiO_3$ material was tested.

Key words : magnetocapacitance material

คำนำ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (capacitor or condenser) ทำหน้าที่เก็บประจุไฟฟ้า (charge) และคายประจุไฟฟ้า (discharge) ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด เช่น ตัวเก็บประจุแบบกระดาษ ตัวเก็บประจุแบบพลาสติก (polyester, polycarbonate, polystyrene) ตัวเก็บประจุแบบไมกา ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ ตัวเก็บประจุแบบเซรามิกส์ ($BaTiO_3$) และตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของตัวเก็บประจุไฟฟ้าประกอบด้วยแผ่นตัวนำขนานสองแผ่นที่มีไดอิเล็กตริก (dielectrics) คั่นกลาง

การเก็บประจุไฟฟ้า คือ การที่ประจุไฟฟ้าเข้าไปในตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าขึ้นตามเวลา ส่วนการคายประจุไฟฟ้า คือ การที่ประจุไฟฟ้าออกจากตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุจะลดลงตามเวลา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุลดลงตามเวลาและความต้านทานไฟฟ้าลดลงตามเวลา

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวเก็บประจุไฟฟ้า (C) กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, ϵ_r) แสดงดังสมการ $C = \epsilon A/L = \epsilon_0 \epsilon_r A/L$; $\epsilon_r = 1 + \chi_e$ เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัด (cross section area) d เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ของสาร L เป็นความหนา (thickness) ของสาร และ χ_e เป็นสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า (electric susceptibility)

บทความนี้เป็นการศึกษาแมกนีโตคาปาซิแตนซ์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

ปล่อยสนามแม่เหล็ก $B = 0.73 \text{ mWb/m}^2$ ให้แก่สาร วัดความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง

ผลการทดลอง

$B = 0 \text{ mWb/m}^2$ $C = 0.94 \text{ nF}$

$B = 0.73 \text{ mWb/m}^2$ $C = 1.33 \text{ nF}$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบปรากฏการณ์แมกนีโตคาร์ปาคิเตอร์ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้าในขณะที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก

สรุปผลการทดลอง

ระบบการวัดที่ได้จัดขึ้นสามารถใช้ในการศึกษาแมกนีโตคาร์ปาคิเตอร์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า เอกสารอ้างอิง

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ พิสิทธ์วิสต์ดุธิเด็กโตรเรวามิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2548