



การศึกษาสมบัติฮิสเทอรีซิสในสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT)

ด้วย วงจร Sawyer-Tower

สุพัตรา วงศ์แสนใหม่*, พิศนัย มุรรัตน์, ธีระพงษ์ ศิลาวงศ์สวัสดิ์, สุพล อนันตา
และ รัตติกกร ยิ้มนิรันดร์

Study of Hysteresis Properties of Lead Zirconate Titanate (PZT) Ceramic by Sawyer-Tower Circuit

Supatta Wongsanmai*, Pison Moonrat, Teerapong Silawongsawat, Supon Ananta,
and Rattikorn Yimnirun

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200.

Department of Physics, Faculty of science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand.

* Corresponding author. E-mail address: spnuy@hotmail.com (S. Wongsanmai)

Received 26 May 2003; accepted 23 September 2003

บทคัดย่อ

วงวนฮิสเทอรีซิสเป็นสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก ซึ่งทำให้แตกต่างไปจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดอื่น และแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโพลาไรเซชันกับสนามไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้วัดวงวนฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิก เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ด้วยการใช้วงจร Sawyer-Tower เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าโพลาไรเซชันตามค่าสนามไฟฟ้า ที่เปลี่ยนแปลงซึ่งพบว่า เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโพลาไรเซชันมีค่าเพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุ ที่ใช้ในวงจร Sawyer-Tower มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าโพลาไรเซชัน โดยค่าโพลาไรเซชันจะลดลงเมื่อค่าความจุ ของตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสนามไฟฟ้า และค่าความจุของตัวเก็บประจุต่างมีความสำคัญต่อสมบัติ ฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิก (PZT)

คำสำคัญ: วงวนฮิสเทอรีซิส, วงจร Sawyer-Tower, PZT

Abstract

Hysteresis loop is an electric property that distinguishes ferroelectric materials from other piezoelectric materials. The loop relates a polarization with an electric field. In this study, a Sawyer-Tower circuit is used to measure hysteresis loop of lead zirconate titanate (PZT). Variations of the polarization with the applied electric field are observed. It is found that increasing applied electric field results in a polarization enhancement. Furthermore, effect of capacitance value of the capacitor used in the circuit on the polarization are investigated. The polarization is found to decrease with increasing capacitance values of the capacitor. In addition, the applied electric field and the capacitor used in the circuit demonstrated to play significant effect on the hysteresis properties.

Keywords: Hysteresis, Sawyer-Tower Circuit, PZT

บทนำ

สารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ซึ่งเป็นสารเซรามิกเพอร์โรอิเล็กทริกถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างมากมายโดยเฉพาะในด้านการสร้างตัวขับเคลื่อน (actuator) ตัวแปลง (transducer) และในเทคโนโลยีทางด้านอื่นๆ เช่น เครื่องฉายภาพกำลังสูง (high-power projector) ซึ่งในการประยุกต์ใช้เหล่านี้สารเซรามิกมักถูกใช้ในสภาวะที่มีค่าสนามไฟฟ้าสูง (Viehland *et al.*, 2001)

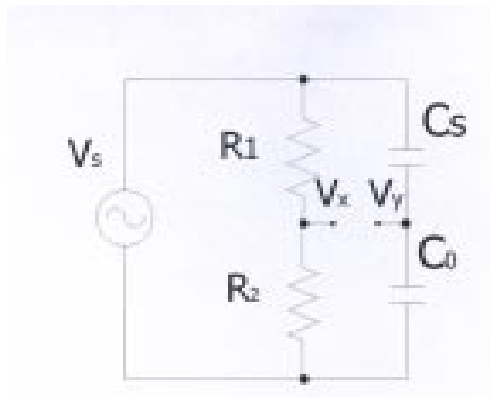
ในสารเพอร์โรอิเล็กทริกนั้นจะมีโพลาริเซชันแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous polarization: P^{sp}) ที่สามารถสลับทิศทางหรือจัดเรียงใหม่ได้ (switch หรือ reorient) ด้วยการให้สนามไฟฟ้า เป็นสภาวะสำคัญของวัสดุเพอร์โรอิเล็กทริกที่ทำให้แตกต่างไปจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดอื่น (Haertling, 1999) การสลับทิศทางของโพลาริเซชันสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยวงวนฮิสเทอรีซิส (hysteresis loop) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโพลาริเซชันกับสนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยการใช้วงจร Sawyer-Tower (Sawyer and Tower, 1930) และวงจรอื่นๆ เป็นการพัฒนาต่อเนื่องมาจากวงจรดังกล่าว การวัดวงวนฮิสเทอรีซิสจะทำให้เข้าใจถึงกลไกของการเกิดโพลาริเซชันภายในสารเพอร์โรอิเล็กทริกได้มากขึ้น

ในการวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจในการศึกษาสมบัติฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิก เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ด้วยการใช้อุปกรณ์ที่ถูกพัฒนามาจากวงจร Sawyer-Tower (Moralidhar and Phillai, 1987) โดยใช้การแสดงผลบนหน้าจอออสซิลโลสโคป ในขั้นต้นนี้จะได้ศึกษาถึงอิทธิพลของสนามไฟฟ้าต่อลักษณะการเกิดโพลาริเซชัน และศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรต่อลักษณะของวงวนฮิสเทอรีซิสที่เกิดขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยนี้ใช้ชิ้นสารตัวอย่างทางการค้า (commercial specimen) เลดเซอร์โคเนต ไทเทเนต (PZT) ซึ่งผ่านการทำขึ้นแล้ว ผลิตโดยบริษัท Piezo Kinetics Incorporated (Pennsylvania, USA.) โดยมีลักษณะเป็นแผ่นกลม (disk) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.20 มิลลิเมตร และมีความหนา 1 มิลลิเมตร

วงวนฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตวัดโดยใช้วงจร Sawyer-Tower ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 1 ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่ V_x และ V_y คือ สัญญาณที่ป้อนเข้าออสซิลโลสโคปในแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อที่จะแสดงผลที่ได้จากการวัดบนหน้าจอ ออสซิลโลสโคป ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่แกนของวงวนฮิสเทอรีซิสบนหน้าจอแทนค่า ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน (R_1) และแกนตั้งของวงวนฮิสเทอรีซิสบนหน้าจอแทน ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุ (C_0) ซึ่งแปรผันโดยตรงกับประจุที่เกิดขึ้นบนสารเซรามิก PZT ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่าโพลาริเซชันที่เปลี่ยนแปลงไปบนสารเซรามิก PZT ได้จากสมการ $P = C_0 V/A$ เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของสารเซรามิก PZT (C_s)



รูปที่ 1 แสดงวงจร Sawyer-Tower

($R_1 = 6.8 \text{ M}\Omega$ $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ $C_0 = 0.1 \mu\text{F}$ $C_s = \text{PZT}$, $C_0 \gg C_s$)



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อวัดวงจรฮีสเทอรีซิส



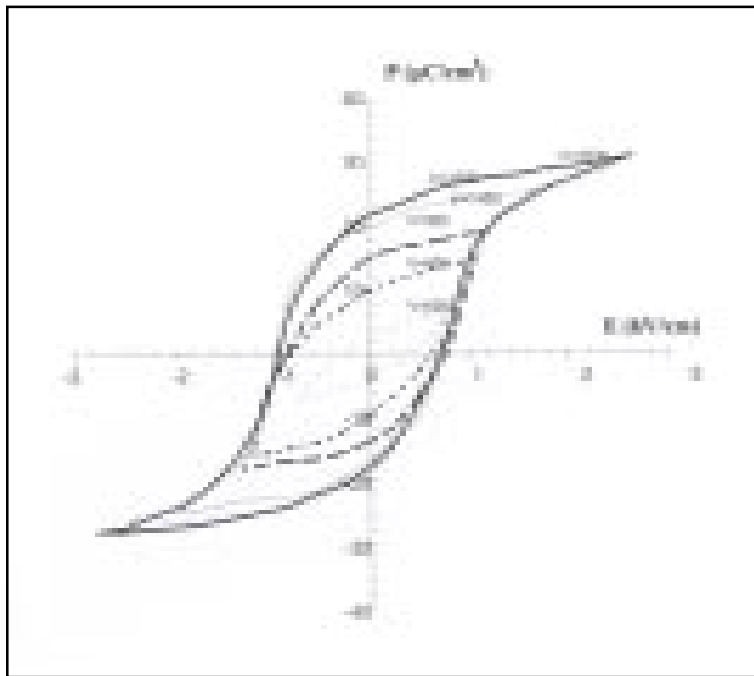
รูปที่ 3 ลักษณะวงวนฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT)

ในการทดลองนี้ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกได้ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลง ค่าความต่างศักย์ (V_s) ต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปของวงวนฮิสเทอรีซิส โดยให้ค่าความต่างศักย์ แก้ววงจรในช่วง 600 ถึง 2000 V_{rms} โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่า R_1 , R_2 , และ C_0 ในวงจรแสดงในรูปที่ 1 แล้วบันทึกวงวนฮิสเทอรีซิสที่ปรากฏ

ในส่วนที่ 2 ได้ศึกษาถึงผลของเปลี่ยนแปลงค่าความจุของตัวเก็บประจุ (C_0) ที่ใช้ในวงจรที่มีต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปของวงวนฮิสเทอรีซิส โดยให้ค่าความจุของตัวเก็บประจุในช่วง 0.1 ถึง 0.56 μF โดยไม่เปลี่ยนแปลงค่า R_1 , R_2 , และ V_s ในวงจรโดยใช้ V_s มีค่าคงที่เท่ากับ 1500 V_{rms} แล้วบันทึกวงวนฮิสเทอรีซิสที่ปรากฏ

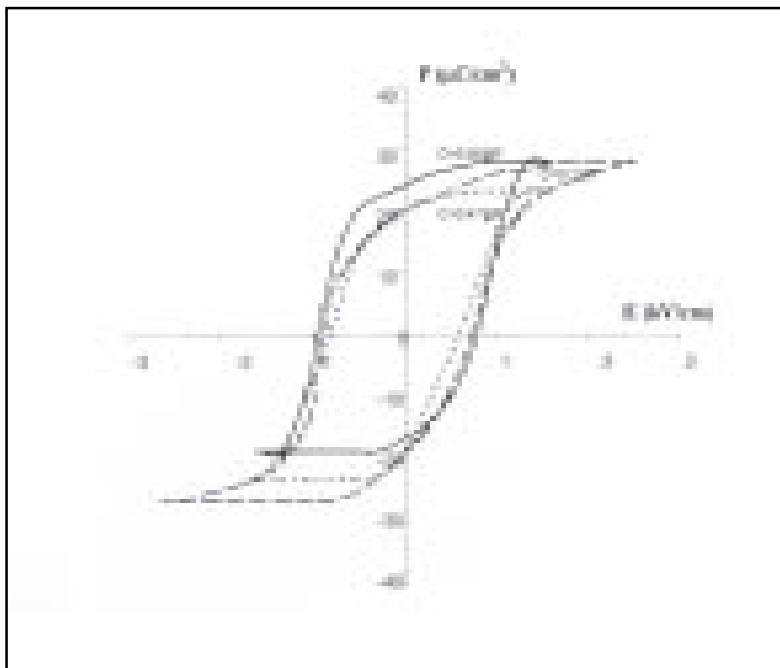
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดลองส่วนแรก ลักษณะวงวนฮิสเทอรีซิสที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความต่างศักย์แสดงดังในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มค่า V_s ปรากฏว่าค่าโพลาริเซชันเพิ่มขึ้นตามค่า V_s ที่เพิ่มขึ้นจนถึง ค่าโพลาริเซชันอิ่มตัวของสารเซรามิก PZT (P_{sat}) แล้ววงวนฮิสเทอรีซิสจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มค่าสนามไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากไดโพลของสารเซรามิก PZT มีการจัดทิศทาง (reorient) ตามสนามไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งทำให้ค่าโพลาริเซชันมีค่ามากที่สุดได้ค่าหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 4 ลักษณะวงวนฮิสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าสนามไฟฟ้า

ผลการทดลองส่วนที่ 2 ลักษณะวงวนฮิสเทอรีซิสที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความจุของ ตัวเก็บประจุ (C_0) ที่ใช้ในวงจรแสดงดังในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความจุของตัวเก็บประจุ ปรากฏว่าค่าโพลาไรเซชันกลับลดลง เนื่องจากความต่างศักย์ตกคร่อมสารเซรามิก PZT ลดลง ส่งผลต่อการจัดทิศทางของไดโพลในสารเซรามิก PZT ให้ลดลง และพบว่าวงวนฮิสเทอรีซิส มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมมากขึ้นเมื่อค่าความจุของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารเซรามิกสามารถเก็บกักพลังงานได้มากขึ้นเมื่อค่าความจุของตัวเก็บประจุ (C_0) ลดลง



รูปที่ 5 ลักษณะวงวนฮีสเทอรีซิสของสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความจุของตัวเก็บประจุ (C_0)

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้แสดงให้เห็นถึงการนำเอาวงจร Sawyer-Tower มาใช้ในการศึกษาสมบัติฮีสเทอรีซิสในสารเซรามิกเลดเซอร์โคเนต (PZT) ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยจากการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าสนามไฟฟ้าที่ถูกให้กับสาร (PZT) ในระหว่างทำการทดลองจะมีผลอย่างชัดเจนต่อลักษณะของวงวนฮีสเทอรีซิสที่เกิดขึ้นและนอกจากนี้ การเลือกใช้อำนาจประกอบของวงจร Sawyer-Tower ก็มีบทบาทที่สำคัญต่อผลการทดลองที่ได้ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงผลของค่าตัวเก็บประจุที่เลือกใช้ในวงจรต่อลักษณะของวงวนฮีสเทอรีซิสที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประจำปี 2545 และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)

เอกสารอ้างอิง

- Heartling, G. H. 1999. Ferroelectric Ceramics: History and Technology, *J. Am. Ceram. Soc.* 82(4): 797–818.
- Moralidhar, C. and P. K. C. Phillai. 1987. Hysteresis Behavior of Barium Titanate (BaTiO_3)/Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Composite, *J. Mater. Sci Letts.* 6: 349–350.
- Sawyer, C. B., and C. H. Tower. 1930. Rochelle Salt as a Dielectric, *Phys. Rev.* 35: 269–275.
- Viehland, D., F. Tito, E. McLaughlin, H. Robinson, R. Janus, L. Ewart, and J. Power. 2001. Enhancement of Electromechanical Coupling Coefficient and Acoustic Power Density in Conventional “Hard” $\text{Pb}(\text{Zr}_{(1-x)}\text{Ti}_{(x)})\text{O}_3$ Ceramics by Application of Uniaxial Stress, *J. Appl. Phys.* 90(3): 1496–1500.