อารียา มูลตั้ง : การศึกษาคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของลวดลายระดับนาโนเมตรของฟิล์มบางบิสมัทเฟอร์ไรต์ (FERROELECTRIC STUDY OF NANOSCALE PATTERNS ON $BiFeO_3$ THIN FILMS). อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ มีวาสนา, 95 หน้า.

คำสำคัญ: สมบัติเฟอร์โรอิกทริค, ระบบลำแสงไอออนแบบโฟกัส, การสร้างลวดลายด้วยลำแสงอิเล็กตรอน, โพลาไรเซชัน

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของฟิล์มบางบิสมัทเฟอร์ไรต์ ($BiFeO_3$: BFO) ที่เตรียมลงบนซับสเตรทต่างชนิดกัน ประกอบด้วย Nb-$SrTiO_3$ (NSTO) และ Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) โดยมุ่งหมายเพื่อศึกษาฟิล์ม BFO ที่ถูกเตรียมด้วยเงื่อนไขและวิธีที่ต่างกัน ได้แก่ การอบภายใต้ความร้อน การทำลวดลายขนาดนาโนเมตรของฟิล์มบางที่มีรูปร่างที่แตกต่าง เช่น การสร้างลวดลายโดยใช้ระบบลำแสงไอออนแบบโฟกัส (Focused Ion Beam : FIB) และ การสร้างลวดลายด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron Beam Lithography : EBL) นอกจากนี้ยังศึกษาพฤติกรรมเฟอร์โรอิเล็กทริกของฟิล์ม BFO ภายใต้การฉายแสงในย่านอัลตราไวโอเลต เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมการสลับสถานะโพลาไรเซชันภายในวัสดุ

การเตรียมฟิล์มบาง BFO บนซับเตรท NSTO และ FTO ถูกเคลือบด้วยการใช้เทคนิคสปัตเตอริง (RF Sputtering) ด้วยการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับย่านความถี่วิทยุที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 600 องศา เป็นเวลา 30 นาที ทำการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) วิเคราะห์พื้นผิวตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบพลังงานกระจาย (EDS) ซึ่งยืนยันได้ว่า BFO ฟิล์มถูกเคลือบลงบนซับเสตรททั้งสอง อีกทั้ง BFO ฟิล์มเปลี่ยนโครงสร้างกลายเป็นผลึกที่มากขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอบภายใต้ความร้อน

การศึกษาคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของฟิล์ม BFO/NSTO ที่สร้างลวดลายระดับนาโนเมตรด้วย เทคนิค FIB ซึ่งสร้างลวดลายสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 300-400 nm และ BFO/FTO ที่มีชั้นของทองคำที่มีลวดลายในรูปแบบรูขนาดนาโนเมตร (Gold Nano hole Array) บน BFO/FTO (AuNHA/BFO/FTO) โดยใช้เทคนิค EBL ตัวอย่างทั้งสองนำไปศึกษาขนาดและเฟสของคุณสมบัติทางเฟอร์โรอิเล็กทริกโดยใช้เทคนิค Piezoresponse force microscopy (PFM) พบว่ากระบวนการสร้างลวดลายมีผลต่อการกระจายตัวและทิศทางของเฟอร์โรอิเล็กทริกโดเมนภายในสาร แสดงให้เห็นว่าการสร้างลวดลายในระดับนาโนด้วยเทคนิค FIB และ EBL ทำให้การตอบสนองทางไฟฟ้าแบบเฟอร์โรอิเล็กทริกลดลง แต่ช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอและเสถียรภาพของเฟอร์โรอิเล็กทริกโดเมนภายใน

สารมากขึ้น การศึกษาผลของการฉายแสงย่านอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของฟิล์ม BFO/ NSTO ด้วยเทคนิค Polarization-electric field (P-E) โดยการวัดวงฮิสเทอรีซิสของโพลาไรเซชัน-สนามไฟฟ้า (P-E) นั้นได้ทำการวัดภายใต้สามเงื่อนไข ดังนี้ คือ ไม่มีแสง UV, ขณะฉาย UV และหลังจากการฉายแสง UV ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการฉายแสง UV ทำให้เกิดพาหะของประจุไฟฟ้าจากการกระตุ้นด้วยแสง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการลดลงของโพลาไรเซชันคงค้าง (Remnant Polarization: P_r) และสนามบังคับ (coercive field :E_c) ของฟิล์ม อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเหล่านี้จะกลับคืนสภาพกลับมาได้บางส่วน หลังจากที่ฉายแสง UV ถูกปิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฉายแสง UV นั้นสามารถใช้ในการควบคุมพฤติกรรมเฟอโรอิเล็กทริกของฟิล์ม BFO ได้ นอกจากนี้การตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้าของฟิล์ม BFO ภายใต้การฉายพลังงานแสง UV ที่แตกต่างกันนั้น ได้รับการศึกษาเช่นกัน โดยเมื่อปิดแสง UV แรงดันไฟฟ้าจะคงที่และโวลต์จะอยู่ที่ 0 mV แสดงให้เห็นว่าวัสดุตอบสนองกับแสง UV ที่พลังงานต่ำได้น้อยมาก ในขณะที่เมื่อเปิดฉายแสง UV ที่พลังงานที่สูงขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นถึงผลโฟโตโวลตาอิกที่สามารถกลับคืนได้ในฟิล์ม BFO ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการปรับแต่งคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกผ่านการควบคุมการฉายแสง UV

ผลการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของวิธีการเตรียมตัวอย่างและเทคนิคการสร้างลวดลายเพื่อสร้างและกำหนดคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริกของฟิล์ม BFO ด้วยการอบที่สามารถช่วยเพิ่มความเป็นผลึกและการตอบสนองเฟอร์โรอิเล็กทริกได้ ขณะเดียวกันการสร้างลวดลายด้วยเทคนิค FIB และ EBL ทำให้ฟิล์มมีความแตกต่างของการกระจายตัวและเสถียรภาพของเฟอร์โรอิเล็กทริกโดเมน นอกจากนี้ยังพบความสามารถในการควบคุมสถานะโพลาไรเซชันโดยใช้แสง UV ซึ่งคุณสมบัตินี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์และหน่วยความจำแบบถาวรได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาฟิสิกส์ ลายมือชื่อนักศึกษา อรียา ปูลตั้ง

ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

AREEYA MOOLTANG : FERROELECTRIC STUDY OF NANOSCALE PATTERNS ON $BiFeO_3$ THIN FILMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WORAWAT MEEVASANA, Ph.D. 95 PP.

KEYWORDS: FERROECTRIC PROPERTY, FOCUS ION BEAM (FIB), ELECTRON BEAM LITHOGRAPHY (EBL), POLARIZATION

This thesis focuses on the study of the ferroelectric properties of Bismuth Ferrite (BFO) thin films on various substrates, including NSTO and FTO. The aim is to explore the effects of different preparation methods, such as annealing, focused ion beam (FIB) patterning, and electron beam lithography (EBL), on the ferroelectric property of these films. Additionally, the impact of UV exposure on the ferroelectric behavior of BFO films is investigated to understand the potential for controlled switching of polarization states.

The research begins with the preparation of BFO thin films on NSTO and FTO substrates using RF magnetron sputtering. These films are then annealed at 600°C for 30 minutes to improve their crystallinity. X-ray diffraction (XRD) analysis confirms the formation of crystalline structures in the annealed films, while scanning electron microscopy (SEM) provides detailed insights into their surface morphology. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) is used to verify the elemental composition of the films, confirming the successful deposition of BFO on the substrates.

The study then explores the effects of nanoscale patterning on the ferroelectric properties of BFO films. Focused ion beam (FIB) is used to create grid patterns of 300-400 nm size on the BFO/NSTO films, while electron beam lithography (EBL) is employed to fabricate gold nanohole arrays on BFO/FTO films. Piezoresponse force microscopy (PFM) is used to measure the amplitude and phase responses of these patterned films, revealing how the patterning process affects the distribution and orientation of ferroelectric domains. The results show that nanoscale patterning by FIB and EBL reduces the overall ferroelectric response, while both patterns enhance the uniformity and stability of the ferroelectric domains. Next, the research investigates the

impact of UV exposure on the ferroelectric properties of annealed BFO films on NSTO. Polarization-electric field (P-E) hysteresis loops are measured under three conditions: no UV, under UV, and after UV exposure. The results indicate that UV exposure introduces photo-induced charge carriers, reducing the remnant polarization and coercive field of the films. However, partial recovery of these properties is observed after the UV exposure is removed, suggesting that UV light can be used to control the ferroelectric behavior of BFO films. The voltage response of BFO films under different UV power levels is also studied. Without UV exposure, the voltage remains stable and close to 0 mV, indicating minimal photo-induced activity. Under UV exposure, higher power levels result in significant voltage increases, confirming a reversible photo-voltaic effect in the BFO films. This effect is more pronounced with higher UV power, demonstrating the potential for tunable ferroelectric properties through controlled UV exposure.

The findings of this thesis highlight the importance of preparation methods and patterning techniques in determining the ferroelectric properties of BFO films. Annealing improves the crystallinity and ferroelectric response, while FIB and EBL patterning have different impacts on the distribution and stability of ferroelectric domains. The ability to control polarization states using UV light opens new possibilities for developing advanced optoelectronic devices and non-volatile memory applications.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Physics
Academic Year 2023

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____