รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์โครงสร้างของโลหะ/ลวดโลหะออกไซด์นาโน/โลหะ สำหรับอุปกรณ์หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่มแบบความต้านทาน

Fabrication of Metal/Metal-oxide nanowire/Metal Structure for Resistive Random Access Memory Application

ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง V

สารบัญภาพ VI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 กรอบแนวความคิดในการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่าง 18

3.2 การตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ 24

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม SiO_2 29

4.2 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม Ti 29

4.3 การศึกษาอิทธิพลของกระบวนการสร้างลวดโลหะออกไซด์ 30

4.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ TiO_2 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 35

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง 36

ประวัตินักวิจัย 37

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธี Force-assisted AFM nanolithography และ วิธี Bias-assisted AFM nanolithography 25

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของโลหะ Ti (hexagonal closed-packed) และฉนวน TiO_2 ของ Rutile 6

2.2 จำนวนบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับสวิทซ์ความต้านทาน 7

2.3 แผนภาพโครงสร้างหน่วยย่อยของ RRAM ที่มีโครงสร้างแบบตัวเก็บประจุประกอบไปด้วย 8

2.4 แบบจำลองโครงสร้าง crossbar memory สำหรับ RRAM โดยจุดตัดระหว่าง Word line และ Bit line 8

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของสวิทซ์ความต้านทานแบบ unipolar และ bipolar 10

2.6 กระบวนการเกิดเส้นทางนำไฟฟ้าของ RRAM 14

2.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิแบบ R_{LRS} และ R_{HRS} ของโครงสร้างหน่วย 17

2.8 สเปกตรัม Energy Dispersive X-ray ของโครงสร้างหน่วยความจำ Ag/ZnO:Mn/Pt 16

2.9 ความสัมพันธ์ของค่ากระแสกับความต่างศักย์ของ $Pt/HfO_2/Au$ MIM RRAM 17

2.10 ประสิทธิภาพความทนทานของอุปกรณ์ $Ti/ZrO_2/Pt$ จากการวัด sweeping dc voltage bias 18

2.11 แสดงความสัมพันธ์ I–V characteristics ของ Ag/GZO/ZnO/Pt memory devices 18

2.12 ภาพ SEM ของโครงสร้าง โลหะ/CuO/โลหะ ภายหลังจากการใส่ความต่างศักย์ 19

2.13 แสดง I-V characteristics ของ Pt/cobalt oxide nanowire/Pt device 20

3.1 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง SiO_2 ลงบน Si wafer โดยวิธี thermal oxidation 22

3.2 ภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องแมกนีตรอนสปัสเตอริ่ง 23

3.3 แผนภาพหลักการทำงานของเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางแบบสปัสเตอริ่ง 24

3.4 แผนภาพหลักการของวิธี Force-assisted AFM nanolithography (a); bias-assisted AFM 26

3.5 แผนภาพขั้นตอนการสร้างลวดลายโดยเทคนิค photo-lithography 27

3.6 หน้ากาก (mask) ที่ใช้ในการสร้างลวดลายโดยเทคนิค photo-lithography 27

3.7 เครื่อง AFM (Parks systems model XE100) และแผนภาพหลักการทำงานของเครื่อง AFM 29

3.8 แผนภาพการเปลี่ยนสถานะพลังงานจากเทคนิค Raman Spectroscopy 30

3.9 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่อง Auger Electron Spectroscopy 31

3.10 เครื่องวัดค่าความสัมพันธ์ของกระแสและความต่างศักย์ของโครงสร้างที่ประดิษฐ์ขึ้น 32

4.1 ภาพ AFM ของพื้นผิวฟิล์มบาง SiO_2 ที่เตรียมโดยวิธี Thermal Oxidation 33
4.2 ภาพ AFM ของพื้นผิวฟิล์มบาง Ti ที่เตรียมโดยเทคนิค DC magnetron sputtering 34
4.3 ภาพแสดงผลการวัดฟิล์มบางโลหะไททาเนียมด้วยเทคนิค Surface Profiler 34
4.4 ภาพ AFM ของลวดโลหะออกไซด์ที่สร้างขึ้นโดยเปลี่ยนแปลงค่า voltage bias 35
4.5 ภาพ AFM ของลวดโลหะออกไซด์ที่สร้างขึ้นโดยเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วในการสแกน 36
4.6 ภาพ AFM ของลวดโลหะออกไซด์ที่สร้างขึ้นจากการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม 36
4.7 ภาพ AFM ของโครงสร้างโลหะ/ลวดโลหะออกไซด์/โลหะ 37
4.8 แผนภาพแสดงการกระบวนการเกิด TiO_2 จากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี 38

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)// การประดิษฐ์โครงสร้างของโลหะ/ลวดโลหะออกไซด์นาโน/โลหะ สำหรับอุปกรณ์หน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่มแบบความต้านทาน
แหล่งเงิน// โครงการวิจัยเงินรายได้ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 150,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นายราชศักดิ์ ศักดานุภาพ (หัวหน้าโครงการ) สังกัดวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงสร้างโลหะ/ฉนวน/โลหะ (MIM) ได้รับการคาดหวังว่าจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นสวิทซ์ความต้านทานสำหรับหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่มแบบความต้านทาน (RRAM) ซึ่งมีจุดเด่นกว่าหน่วยความจำแบบไม่ลบเลือนชนิดอื่น ๆ เช่น กินไฟต่ำ, ความเร็วสูง และค่าความจุต่อพื้นที่มาก โดยทั่วไปโครงสร้างแบบ MIM จะประดิษฐ์ขึ้นโดยการปลูกฟิล์มบางโลหะและฉนวนซ้อนเรียงทับกันเป็นชั้น ๆ หรือที่เรียกว่าวิธี bottom-up ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประดิษฐ์โครงสร้าง MIM แบบใหม่โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีศักยภาพมากในการสร้างโครงสร้างระดับนาโนเมตร รอยต่อ $Ti/TiO_x/Ti$ ถูกประดิษฐ์ขึ้นบนแผ่นรองรับ SiO_2/Si wafer โดยการเคลือบฟิล์มบางโลหะไททาเนียมด้วยวิธี ดีซี แมกนีตรอนสปัสเตอริ่งและตามด้วยการสร้างลวดโลหะออกไซด์โดยวิธี AFM อุปกรณ์ถูกตรวจสอบพื้นผิว สมบัติทางเคมี และสมบัติทางไฟฟ้า โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์แรงงอะตอม (AFM), Auger Electron Spectroscopy (AES) และ การวัดความสัมพันธ์ของกระแส-ความต่างศักย์ไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่า ลวดโลหะออกไซด์ที่สร้างขึ้นมีขนาดความกว้างในช่วง 50-200 nm ซึ่งสัมพันธ์กับค่าไบแอสความต่างศักย์ (-1 ถึง -10 V) และอัตราในการสแกน (1 - 0.1μm/sec) ของโพรบ AFM สเปกตรัม AES พบสัดส่วนของ O_{KLL} ต่อ Ti peak ของลวดโลหะออกไซด์สูงกว่าสัดส่วนบนฟิล์ม Ti ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดโครงสร้างออกไซด์ จากความสัมพันธ์ของกระแส-ความต่างศักย์พบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของอุปกรณ์เมื่อเปลี่ยนค่าไบแอสความต่างศักย์ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสวิทซ์ความต้านทาน

คำสำคัญ : สวิทซ์ความต้านทาน, กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม, ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Research Title: Fabrication of Metal/Metal-oxide nanowire/Metal Structure for Resistive Random Access Memory

Researcher: Mr.Rachsak Sakdanuphab

College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

Metal/Metal-oxide (Insulator)/Metal (MIM) structures are promising to be a resistive switching device for a resistive random access memory (RRAM). It has been shown the advantages of low power consumption, high speed operation, and high density integration. In general, MIM structures are fabricated by growing metal and insulating films into the stack layers (bottom-up approach). In this work, we demonstrate the planar-type MIM junction using the Atomic Force Microscopy (AFM) in the growth of insulating layer or channel. Planar-type Ti/TiO_x/Ti junction were fabricated on SiO_2/Si wafer by sputtering of Ti thin films, and following with the local oxidation on Ti film by AFM. The devices were investigated for their morphological, chemical and electrical properties via AFM, AES and I-V measurements. The morphology shows the insulating channel width in order of 50-200 nm corresponding with the increase of negative tip bias (-1 to -10 V) and the decrease of scanning rate (1 to 0.1μm/sec). The AES spectra show that the ratio of O_{KLL} to Ti peak is larger than that of the Ti film substrate. This result confirms the formation of oxidizing Ti channel. The current-voltage curve shows the change of resistance with the bias voltages. This result suggests that this device structure has the feasibility for the resistive switching device.

Keywords : Resistive switching, Atomic Force Microscopy, and local oxidation

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์.ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์ คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญและให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ และความเอาใจใส่ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาปัญหาเรื่องงานวิจัยมาโดยตลอด ตลอดจนขอขอบคุณบุคลากรของวิทยาลัย ฯ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และสุดท้ายขอขอบคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก ที่อยู่เคียงข้าง เข้าใจและเป็นกำลังใจในการทำงาน การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ วิทยาลัยนวัตกรมการจัดการข้อมูลประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

นายราชศักดิ์ ศักดานุภาพ

(.....)

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายราชศักดิ์ ศักดานุภาพ

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วทบ.	**ฟิสิกส์ (เกียรตินิยมฯ 1)**	**มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**	**2545**
วทม.	**ฟิสิกส์**	**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**	**2548**
วทด.	**ฟิสิกส์**	**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**	**2553**

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) **วัสดุศาสตร์, ฟิสิกส์ของฟิล์มบาง**

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2553	**Best paper award in materials for energy session, MSAT 6, 2010**	**MTEC & WD**

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Chiang Mai University Journal of Natural Sciences, accepted

การเสนอผลงานวิชาการ

The 8th Annual Conference of the Thai Physics Society, March 21-23 2013, Chiang Mai, Thailand

ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

อื่นๆ