บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ในโลกปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาก้าวหน้าอย่างมาก รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตซึ่งมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ (semiconductor devices) อันได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ไดโอด ตัวเก็บประจุ และการผลิตวงจรรวม (integrated circuit : IC) ซึ่งทำให้เครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีขีดความสามารถเพิ่มสูงขึ้นแต่ขนาดของเครื่องกลับเล็กลง อย่างไรก็ตามการผลิตวงจรรวมขนาดใหญ่มาก (very large scale integrated circuit : VLSI) นั้นต้องการความเชี่ยวชาญและเทคโนโลยีในระดับสูงมาก เนื่องจากสิ่งประดิษฐ์เหล่านี้มีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรจึงต้องมีความระมัดระวังอย่างมาก ในขณะนี้ภายในประเทศก็มีความพยายามที่จะวิจัยและพัฒนาไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (microelectronic) ดังกล่าว เพื่อที่จะสามารถพึ่งตนเองได้ในการผลิตโดยไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี เนื่องจากราคาของวัสดุเหล่านี้ค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นหากเรามีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตวงจรรวม ในอนาคตอันใกล้ก็เป็นไปได้ว่าอาจจะสามารถผลิตแผงวงจรรวมได้เองและยังจะช่วยเร่งพัฒนาการออกแบบวงจรและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย

สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ล้วนเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมที่สุด และใช้มาตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1960 เป็นต้นมาคือซิลิกอน (Silicon) เนื่องจากวัสดุดังกล่าวทำให้มีกระแสรั่วต่ำและออกไซด์ของซิลิกอนมีคุณภาพสูง หากพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์ยังพบว่าสิ่งประดิษฐ์ซิลิกอนจะทำให้ผู้ผลิตสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยกว่าการใช้วัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น เนื่องจากซิลิกอนอยู่ในรูปของซิลิกาและซิลิเกต ประกอบอยู่ประมาณ 25% บนพื้นโลก และซิลิกอนเป็นธาตุที่มีอย่างสมบูรณ์เป็นอันดับสองรองจากออกซิเจน จึงนับเป็นธาตุที่ได้รับการศึกษาค้นคว้ามากที่สุด

ในการผลิตสิ่งประดิษฐ์จำเป็นต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก สิ่งประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องสร้างจากสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูงมากและจะต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ เนื่องจากสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของสารถูกกำหนดจากความเป็นระเบียบในโครงสร้างผลึก (lattice structure) และยังขึ้นอยู่กับชนิดของความบกพร่อง (defects) ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการปลูกผลึกหรือเกิดในระหว่างกระบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์ หากสามารถ

ควบคุมความบกพร่องในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ความเสียหายของผลึกเหลือน้อยที่สุด ก็จะทำให้ได้สิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพดีที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

การสร้างวงจรรวมแบบซีมอส (CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor) บนแว่นซิลิกอน (silicon wafer) กำลังเป็นที่นิยมปฏิบัติกันอยู่ในกลุ่มบริษัทผู้ผลิตวงจรรวมในปัจจุบัน และมีการค้นพบว่าการสร้างวงจรลงบนผลึกเดี่ยวซิลิกอนที่บางโดยที่ชั้นผลึกเดี่ยวนี้ปลูกอยู่บนฉนวนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกต่ำ จะทำให้เกิดผลดีต่อการทำงานของสิ่งประดิษฐ์ เทคนิคหนึ่งที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ เทคนิคซิลิกอนบนฉนวน (Silicon On Insulator : SOI) และเรียกวิธีนี้ว่า ไซมอกซ์ (SIMOX : Separated by IMplantation OXygen) วิธีการนี้ทำโดยนำอะตอมของออกซิเจนมาฝัง (implantation) ลงไปบนผิวหน้าแว่นผลึกซิลิกอน เพื่อสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ให้อยู่ใต้ผิวซิลิกอนบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มักทำให้โครงสร้างที่ผิวหน้าผลึกเกิดความเสียหายหรือผิดเพี้ยน เนื่องจากการวิ่งชนอย่างแรงของไอออนที่มีพลังงานสูงตกกระทบลงบนผิวหน้าแว่นผลึก (กรกฎ, 2540) ดังนั้นก่อนนำไซมอกซ์ไปสร้างวงจรรวมจึงต้องทำการตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพการผลิตเสียก่อน วิธีการตรวจสอบวิเคราะห์มีหลายวิธี เช่น การตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าและการวิเคราะห์จุลโครงสร้าง (microstructure) เป็นต้น

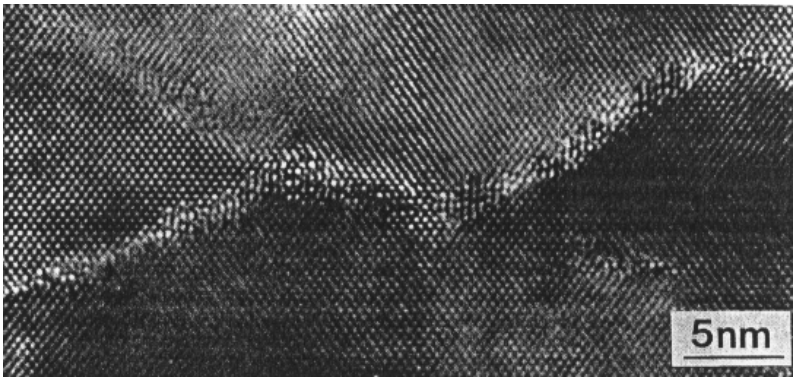
การศึกษาจุลโครงสร้างเป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน การศึกษาโครงสร้างของวัสดุซึ่งไม่สามารถมองเห็นและวิเคราะห์ได้ด้วยตาเปล่าและกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (light microscope) ก็ไม่สามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพที่ต้องการเห็นได้เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบบนตัวอย่างมีขนาดยาวกว่ารายละเอียดของโครงสร้างที่ต้องการศึกษา ปัจจุบันกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้รับการพัฒนาให้มีกำลังขยายมากกว่าล้านเท่า และมีความสามารถในการแยกรายละเอียดได้ถึงระดับ 2 อังสตรอม นั่นคือสามารถมองเห็นได้ในระดับอะตอม (atomic resolution) ทำให้สามารถศึกษาบริเวณรอยต่อระหว่างผิว (interface structure) และโครง-สร้างที่มีความบกพร่องในผลึกได้ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จุลโครงสร้างบอกถึงความเป็นมาของกระบวนการเตรียมวัสดุ จุลโครงสร้างมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ และความบกพร่องในวัสดุจะเป็นตัวควบคุมสมบัติส่วนใหญ่ของวัสดุ เช่น สมบัติทางกล (mechanical properties) สมบัติทางไฟฟ้า (Spence, 2002) การศึกษาจุลโครงสร้างจึงมีบทบาทที่สำคัญมากต่อการพัฒนาการสร้างสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ในการทำการวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาจุลโครงสร้างของไซมอกซ์โดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งชนิดส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) และชนิดส่องผ่าน (transmission electron microscope : TEM) และได้ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของไซมอกซ์ควบคู่ไปด้วย เพื่อเป็นการยืนยันถึงโครงสร้างทางจุลภาคที่ส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้า

2. การตรวจเอกสาร

การศึกษาจุลโครงสร้างของวัสดุที่มีขนาดเล็กหรือบางมากๆในปัจจุบันสามารถทำได้หลายวิธีในงานวิจัยของ Tompkins และ Vasquez (1990) ใช้อีลิปโทรมิสทรี (ellipsometry) ซึ่งใช้หลักการทางแสงวัดความหนาของชั้นออกไซด์ที่อยู่บนโพลีซิลิกอน ธวัชชัย และสมเกียรติ (2535) ได้วัดความหนาชั้นออกไซด์โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ด้วยกระบวนการตัดขวางแว่นผลึกและใช้เทคนิคการขัดผิวหน้าให้เงาเหมือนกระจก ทำการขัดผิวหน้าซึ่งเป็น รอยต่อระหว่างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์และชั้นซิลิกอนด้วยวิธีพลาสมา (plasma) นำไปถ่ายภาพสามารถวัดความหนาของชั้นออกไซด์ที่มีความหนาตั้งแต่ 100 นาโนเมตรขึ้นไป งานวิจัยที่ศึกษาจุลโครงสร้างของไซมอกซ์ มักจะศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน เนื่องจากความหนาของชั้นตัวอย่างน้อยมากถึงระดับน้อยกว่า 100 นาโนเมตร ด้วยการเตรียมตัวอย่างให้บางจนลำอิเล็กตรอนสามารถส่องผ่านตัวอย่างที่บางมากแล้วทำให้เกิดภาพ

Seraphin (1994) ได้ศึกษาจุลโครงสร้างของไซมอกซ์ที่ฝังออกซิเจนที่พลังงาน 200 กิโล-อิเล็กตรอนโวลต์ (kiloelectronvolt : keV) ปริมาณ 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร โดยการเตรียมตัวอย่างภาคตัดขวางที่ผ่านกระบวนการยึด (gluing) การขัด (grinding) การทำให้เป็นหลุม (dimpling) และการยิงตัวอย่างด้วยไอออน (ion milling) แล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ที่พลังงาน 200 กิโลโวลต์ (kilovolt : kV) พบว่าโครงสร้างทั่วไปของไซมอกซ์ประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้น ซิลิกอนบนสุดมีความหนาประมาณ 0.3 ไมโครเมตร ชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอน ซึ่งมักเรียกว่าชั้น BOX (Buried OXide) มีความหนาประมาณ 0.4 ไมโครเมตร และชั้นฐานซิลิกอน ซึ่งปรากฏความบกพร่องหนาประมาณ 0.3 ไมโครเมตร อุณหภูมิขณะฝังไอออนมีผลต่อโครงสร้างของไซมอกซ์ ทั้งก่อนและหลังการอบให้ความร้อน (anneal) คือ ชั้นซิลิกอนของตัวอย่างที่ฝังออกซิเจนในช่วงอุณหภูมิ 450-550^{o} C จะพบความบกพร่องแบบการเข้ากลุ่มผิดพลาด (stacking fault) หลายระนาบ มีความหนาแน่น 10^{8} ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และยังพบแนวของฟองอากาศ (bubbles) บริเวณใกล้ ๆ กับผิวตัวอย่างด้านบน พบความบกพร่องที่มีระนาบ {113} เกินมาในชั้นออกไซด์ของทุกตัวอย่าง ตัวอย่างที่ฝังไอออนที่อุณหภูมิสูงหลังการอบให้ความร้อนจะมีความหนาแน่นความบกพร่องต่ำกว่าตัวอย่างที่ฝังออกซิเจนที่อุณหภูมิต่ำ และการอบให้ความร้อนทำให้ฟองอากาศที่บริเวณพื้นผิวหายไป เมื่อปี 1991 Visitserugtrakul และ Krauses ศึกษาโครง-สร้างความบกพร่อง {113} ด้วยการถ่ายภาพกำลังขยายสูงที่ 200 kV มีลักษณะความบกพร่องที่เรียกว่า ซิกเซก (zigzag) ดังภาพประกอบ 1.1 ความบกพร่องดังกล่าวทำให้เกิดโครงสร้างผลึกลูกบาศก์แบบเพชร (cubic diamond) และหกเหลี่ยมหรือเฮกซะโกนอล (hexagonal) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้

จากภาพถ่าย อย่างไรก็ตามการศึกษาลักษณะโครงสร้างความบกพร่องของผลึกจากภาพถ่ายกำลังขยายสูงนั้นเป็นสิ่งที่ยากมากในการวิเคราะห์

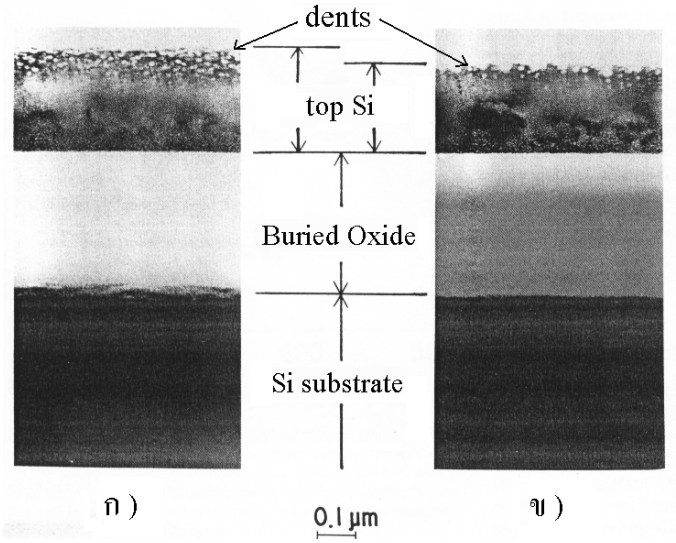


ภาพประกอบ 1.1 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงของความบกพร่องแบบซิกเซกของระนาบ {113} ที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของชั้นใต้ผิวซิลิกอน (ที่มา : Visitserugtrakul และ Krauses 1991: 700)

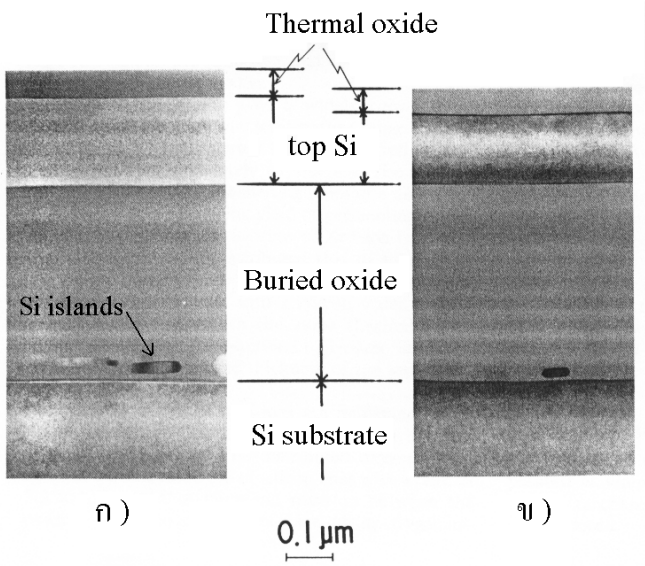
Nakashima และ Izumi (1990) พบรอยหยักหรือรอยเว้า (densts) ที่มีลักษณะเดียวกับฟองอากาศในงานของ Seraphin (1994) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าไซมอกซ์ เมื่ออุณหภูมิขณะฝังไอออนมากกว่า 510 ^{o}C และจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ฝังไอออนสูงขึ้นสำหรับไซมอกซ์ที่ฝังออกซิเจน 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร 180 keV dents จะหายไปเมื่ออบให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 1260 ^{o}C ความหนาของชั้นซิลิกอนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ฝังไอออนเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบที่ 1.2 ภายหลังการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1300 ^{o}C นาน 4 ชั่วโมง จะเกิดการออกซิเดชันทางความร้อน (thermal oxidation) ทำให้เกิดชั้นออกไซด์ขึ้นบริเวณผิวหน้าซิลิกอน และปรากฏกลุ่มก้อนซิลิกอน (Si islands) ขึ้นภายในชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอน โดยที่ความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนจะลดลงและมีขนาดเล็กลงเมื่ออุณหภูมิที่ฝังไอออนเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพประกอบที่ 1.3 ต่อมาในปี 1992 Nakashima และ Izumi ศึกษาชั้นออกไซด์ของไซมอกซ์ ที่ฝังไอออนออกซิเจนในปริมาณต่ำ 0.4 และ 0.7×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ที่ 180 keV 550 ^{o}C และอบให้ความร้อนในก๊าซผสมระหว่างอาร์กอนกับออกซิเจน พบว่าตัวอย่าง 0.4×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ไม่ปรากฏกลุ่มก้อนซิลิกอนและทำให้ค่าแรงดันทลาย [1] (breakdown voltage) มีค่า 40 โวลต์

[1] แรงดันทลาย คือ แรงดันย้อนกลับของไดโอด แรงดันนี้จะทำให้ เกิดกระแสไหลย้อนกลับมาก ค่าแรงดันทลายขึ้นอยู่กับการมีกระแสรั่วเกิดขึ้น (กรกฎ, 2540, 167-187)

แต่ในตัวอย่าง 0.7×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร จะปรากฏกลุ่มก้อนซิลิกอนและทำให้ค่าแรงดันทลายลดลงเป็นศูนย์ เขาจึงสรุปว่าการลดลงของค่าแรงดันทลายนี้เป็นผลมาจากกลุ่มก้อนซิลิกอนในชั้นออกไซด์



ภาพประกอบที่ 1.2 ไซมอกซ์ที่ฝังออกซิเจน 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร 180 keV ที่อุณหภูมิ ก) 550 °C ข) 700 °C (ที่มา : Nakashima และ Izumi, 1990: 1924)



ภาพประกอบที่ 1.3 ไซมอกซ์ที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่ 1300 °C หลังจากฝังออกซิเจน 1.8×10^{18} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร 180 keV ที่อุณหภูมิ ก) 550 °C ข) 700 °C (ที่มา : Nakashima และ Izumi, 1990: 1925)

Nakashima และ Isumi (1993) ได้วัดค่าแรงดันทลายของไซมอกซ์ที่มีลักษณะของชั้นออกไซด์ที่ฝังไอออนแตกต่างกันโดยการสร้างเป็นตัวเก็บประจุมอส (MOS capacitors) พบว่าค่าแรงดันทลายเป็นผลมาจากความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนที่อยู่ในชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอน เมื่อมีความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนมากจะทำให้แรงดันทลายลดลง ความหนาแน่นของกลุ่มก้อน ซิลิกอนขึ้นอยู่กับเวลาในการอบให้ความร้อน (ที่อุณหภูมิเดียวกัน) ตัวอย่างที่อบนานกว่าจะมีความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนน้อยกว่า และจะไม่มีกลุ่มก้อนซิลิกอนเกิดขึ้นเลยเมื่ออบให้ความร้อนด้วยเวลาที่เหมาะสมกับปริมาณการฝังออกซิเจน เมื่อเวลาในการอบให้ความร้อนเท่ากันแต่ปริมาณการฝังออกซิเจนต่างกัน ตัวอย่างที่ฝังออกซิเจนต่ำจะมีความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนต่ำกว่าตัวอย่างที่ฝังออกซิเจนในปริมาณสูง Bagchi และคณะ (1997) กล่าวถึงกลุ่มก้อนซิลิกอนว่าทำให้เกิดกระแสรั่ว (leakage currents) ในชั้นออกไซด์ซึ่งทำให้เกิดผลเสียแก่สิ่งประดิษฐ์ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 2

การศึกษาลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า (electrical characteristic) ควบคู่ไปกับลักษณะจุลโครงสร้างมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาคุณภาพของไซมอกซ์ Ioannou และคณะ (1991) ศึกษาลักษณะของไซมอกซ์ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างวงจรรวมขนาดใหญ่ด้วยการสร้างเป็นทรานซิสเตอร์มอสเฟต (MOSFET : metal oxide semiconductor) แล้ววัดค่ากระแสที่ขั้วเดรน (drain) กับแรงดันที่ขั้วเกต (gate) และขั้วเดรน เพื่อหาค่าความคล่องตัว (mobility) แรงดันขีดเริ่ม (threshold voltage) และกระแสรั่วที่ผิวสัมผัส ร่วมกับเทคนิค DLTS (Deep-Level Transient Spectroscopy : DLTS) (Vuillaume, 1989) ศึกษาการจับ[2] (trap) พาหะ การรวมตัว (recombination) ของพาหะ และพื้นที่ภาคตัดขวางของการจับพาหะ ซึ่งแสดงถึงระดับพลังงานระดับลึก[3] (deep level) ที่เกิดจากความบกพร่องในผลึกที่ทำให้เกิดเป็นศูนย์กลางการจับ ทำให้ช่วงอายุพาหะ (carrier lifetime) ลดลง มีงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานถึงการศึกษาลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของไซมอกซ์โดยการสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีโครงสร้างที่ต้องอาศัยกระบวนการสร้างชั้นสูง และต้องใช้การวิเคราะห์ที่ซับซ้อน วิธีดังกล่าวทำได้ยากและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ อย่างไรก็ตามยังมีรายงานการวิจัยจำนวนไม่น้อยที่สนใจศึกษาลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้าของไซมอกซ์โดยสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เช่น ตัวเก็บประจุมอส แล้ววัดค่าความจุไฟฟ้า (capacitance) และแรงดัน Dimitrakis และคณะ (1996) วัดค่าความจุไฟฟ้า-แรงดันที่ความถี่สูงของไซมอกซ์ที่สร้างเป็นตัวเก็บประจุมอสโดยกัดชั้นซิลิกอนออกด้วยกระบวนการกัดแบบเปียก (wet etching) แล้วปลูกชั้นอะลูมิเนียมบนชั้น

---

[2]การจับ คือ การจับพาหะชั่วคราวไว้ในระดับเฉพาะที่ (localized levels) ที่เกิดจากความบกพร่องของผลึก

[3]ระดับพลังงานระดับลึก เป็นระดับพลังงานที่อยู่บริเวณกลางช่องว่างแถบพลังงาน (band gap energy) ที่เกิดจากความบกพร่องในโครงผลึก (Singh, 1995)

ออกไซด์ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุไฟฟ้า-แรงดันจะใช้ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นสถานะที่รอยต่อผิว (interface state density) ของสิ่งประดิษฐ์ เกรียงศักดิ์ และคณะ (2530) วิเคราะห์ค่าสถานะดังกล่าวของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำโดยการวัดลักษณะสมบัติความจุไฟฟ้า-แรงดันของตัวเก็บประจุที่สร้างขึ้น พบว่าสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของสิ่งประดิษฐ์ การมีไอออนบวกที่เคลื่อนที่ได้ในชั้นออกไซด์และที่ผิวสัมผัสทำให้ค่าความหนาแน่นสถานะสูง สิ่งประดิษฐ์ที่ดีไม่ควรมีค่าความหนาแน่นสถานะที่รอยต่อมากเกิน 10^{11} ต่อตารางเซนติเมตร กราฟความจุไฟฟ้า-แรงดันในรายงานของ Dimitrakis (1996) มีการเลื่อนไปของค่าแรงดันแถบราบ[4] (flat band voltage) ในทางลบแสดงถึงการมีความหนาแน่นของประจุบวกในชั้นออกไซด์สูง ประจุบวกในชั้นออกไซด์นั้นมาจากการมีกลุ่มก้อนซิลิกอนอยู่ในชั้นออกไซด์นั่นเอง

ไซมอกซ์แบบเก่าจะฝังไอออนออกซิเจนในปริมาณมากและใช้พลังงานสูงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง เนื่องจากต้องใช้เวลานานในการฝังไอออน เพื่อปัญหานี้จึงมีการพัฒนาไซมอกซ์แบบบาง (ultrathin SIMOX) โดยฝังออกซิเจนด้วยปริมาณต่ำ (< 10^{8} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร) และใช้พลังงานต่ำ (~20-140 keV) ไม่เพียงแต่จะช่วยลดต้นทุนแต่ยังทำให้ได้ชั้นซิลิกอนที่บางกว่า เป็นผลดีต่อสิ่งประดิษฐ์ที่ต้องการช่องนำกระแสมีเขตปลอดพาหะเต็มที่[5] (fully depleted) และชั้นออกไซด์ที่บางกว่าทำให้การแผ่รังสีลดลง ไซมอกซ์แบบบางจึงเป็นผลสำเร็จของวงจรรวมที่ให้ผลสูง (Anc, 1998)

Li และคณะ (1993) สรุปว่าปัจจัยหรือเงื่อนไขที่ทำให้เกิดรูปร่างของชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอนที่เกิดจากการฝังไอออนออกซิเจนที่พลังงาน 70 keV มีลักษณะเช่นเดียวกับที่ 200 keV คือ ปริมาณและอุณหภูมิในการฝังไอออนซึ่งมีผลอย่างมากต่อโครงสร้างหลังการฝังไอออนและหลังการอบให้ความร้อน เงื่อนไขที่ใช้ในการฝังไอออนที่เหมาะสมจะทำให้ได้ฟิล์มบางไซมอกซ์ที่มีคุณภาพดี มีความบกพร่องต่ำและไม่มีกลุ่มก้อนซิลิกอนในชั้นออกไซด์ Jiao และ คณะ (2000) ศึกษากลุ่มก้อนซิลิกอนในชั้นออกไซด์ที่ฝังไอออนออกซิเจน 1.5-7× 10^{17} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร ที่ 65 keV และอบให้ความร้อนในก๊าซอาร์กอนและออกซิเจนโดยที่ไม่มีและมีชั้นป้องกันผิว[6] พบว่าปริมาณการฝังออกซิเจนที่จะทำให้ได้ชั้นออกไซด์ที่ต่อเนื่องและไม่มีกลุ่มก้อนซิลิกอนขึ้นอยู่กับพลังงานการฝังไอออนและเงื่อนไขในการอบให้ความร้อน ชั้นป้องกันผิวทำให้ออกซิเจนที่อยู่รอบ ๆ

---

[4] แรงดันแถบราบคือแรงดันที่ป้อนให้ตัวเก็บประจุมอสเพื่อทำให้เกิดสภาวะแบบราบจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 2

[5] ช่องนำกระแสปลอดพาหะเต็มที่ คือ การทำงานของทรานซิสเตอร์มอสในลักษณะที่ช่องนำกระแสมีเการปลอดพาหะเต็มที่ในสถานะหยุดนำกระแส ความจุไฟฟ้าที่เกตมีค่าต่ำลงทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

[6] ชั้นป้องกันผิว ในที่นี้เป็นชั้นที่เกิดจากการสถายตัวของสารเคมีโดยการสลายของสารเคมี เทราเอททิลออธอซิลิเคต (TeraEthylOrthosilicate : TEOS) ใช้ป้องกันผิวหน้าของ ไซมอกซ์

แพร่เข้าไปในชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอนได้น้อยลง จึงทำให้ความหนาแน่นของกลุ่มก้อนซิลิกอนในตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิวสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว สำหรับปริมาณการฝังออกซิเจนที่เท่ากัน Johson และคณะ (2001) พบว่าการมีชั้นป้องกันผิว TEOS จะช่วยป้องกันผิวหน้าซิลิกอนไม่ให้เกิดการออกซิเดชันกลายเป็นชั้นออกไซด์บาง ๆ บริเวณผิวหน้าในระหว่างการอบให้ความร้อน จึงทำให้ชั้นซิลิกอนของตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิวบางกว่าตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิวที่มีปริมาณการฝังออกซิเจนเท่ากัน เมื่อปริมาณการฝังไอออนเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นซิลิกอนจะลดลงส่วนชั้นออกไซด์ใต้ผิวซิลิกอนนความหนาจะเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นความบกพร่องโดยใช้เทคนิครอยกัด (etch pit) พบว่าความหนาแน่นความบกพร่องในชั้นซิลิกอนของตัวอย่างที่มีชั้นป้องกันผิวจะมีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีชั้นป้องกันผิว เนื่องจากชั้นป้องกันผิวจะยับยั้งการขยายตัวของความบกพร่อง

Song และคณะ (1998) ศึกษาการวัดความจุไฟฟ้า-แรงดันของตัวเก็บประจุมอสที่สร้างจากไซมอกซ์แบบบาง ซึ่งมีชั้น BOX บางประมาณ 35 นาโนเมตร พบว่าการเกิดกระแสรั่วในการวัดทำให้กราฟความจุไฟฟ้า-แรงดันมีลักษณะแตกต่างไปจากกราฟตามทฤษฎี คือค่าความจุไฟฟ้าสูงสุดมีค่าไม่คงที่ Song แก้ไขโดยการสร้างวงจรไฟฟ้าเพื่อกรองกระแสรั่ว หลังจากใช้วงจรนี้แล้วสามารถให้ค่าความจุไฟฟ้า-แรงดันตามทฤษฎี อย่างไรก็ตามกราฟที่ได้โดยไม่ใช้วงจรกรองกระแสรั่วนี้ยังมีส่วนที่ทับกับกราฟหลังการใช้วงจรกรอง

การศึกษาจุลโครงสร้างจำเป็นมากสำหรับการศึกษาวัสดุทุกประเภทนอกเหนือจากไซมอกซ์ เช่น การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุโลหะ วัสดุเซรามิก วัสดุคอมโพสิท (composite) Zhu และคณะ (2000) ศึกษาโครงสร้างผิวรอยต่อ ความบกพร่องในผลึก และขอบเกรน (grain boundary) ของฟิล์มบางเฟอร์โรอิเล็กตริก (ferroelectric) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่านและส่องกราด Thanachayanont และคณะ(2001) ศึกษาโครงสร้างและความบกพร่องที่เกิดขึ้นในฟิล์มบาง AlGaInP ที่ปลูกบนผลึก GaAs ด้วยการถ่ายภาพภาคตัดขวางและเทคนิคดิฟเฟรกชัน (diffraction) ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะจุลโครงสร้างของซิลิกอนบนฉนวน จากภาพถ่ายไมโครกราฟที่ได้จากเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนทั้งชนิดส่องกราดและส่องผ่าน
2. จากข้อมูลภาพถ่ายจุลโครงสร้าง นำมาวิเคราะห์หาแนวโน้มของความเปลี่ยนแปลงคุณภาพของวัสดุกับตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมวัสดุ และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างจุลโครงสร้างกับสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ