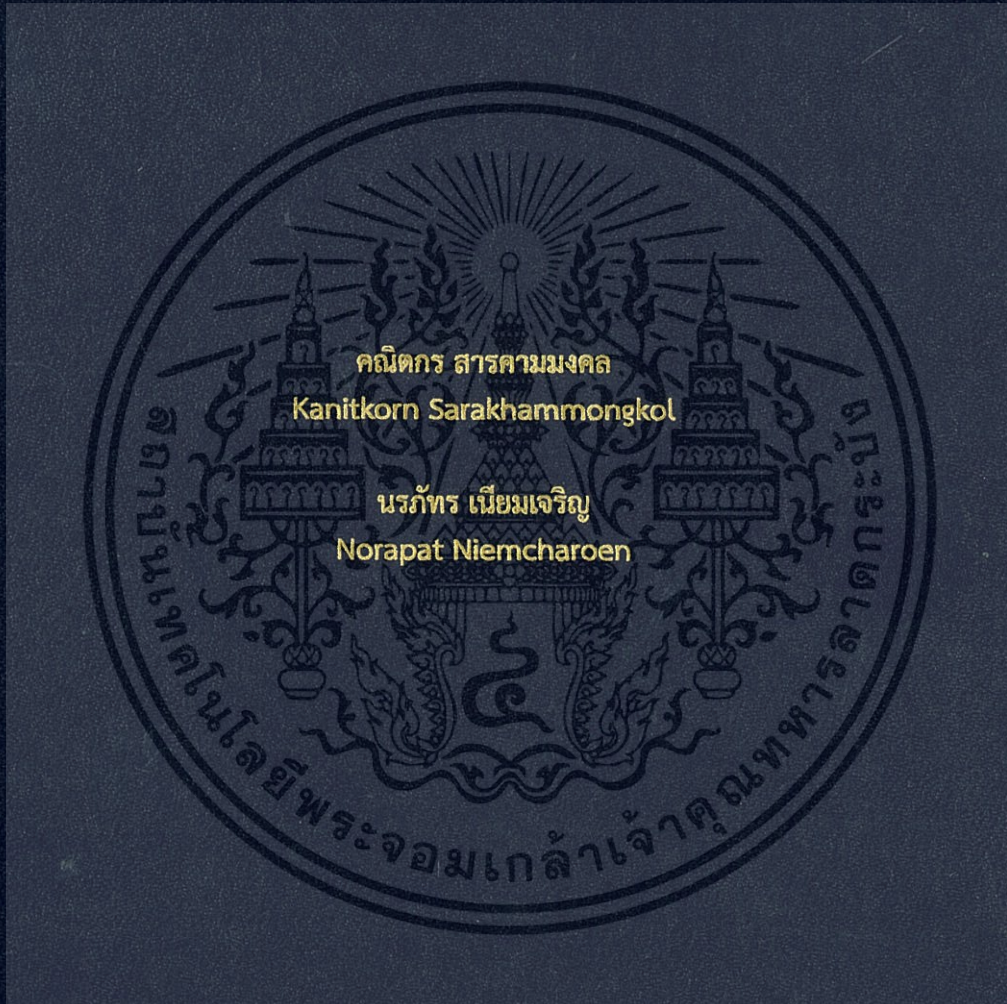


การปรับปรุงสารละลาย TMAH โดยการเติมกรดซิลิสิกส์สำหรับการสร้างตัว
ตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปด้วย

An improved TMAH solution by adding silicic acid for UMSM
photodetectors fabrication



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การปรับปรุงสารละลาย TMAH โดยการเติมกรดซิลิสิกสำหรับการสร้างตัว
ตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยู

An improved TMAH solution by adding silicic acid for UMSM
photodetectors fabrication



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิชาโครงงาน 2 ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง การปรับปรุงสารละลาย TMAH โดยการเติมกรดซิลิสิกส์สำหรับการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยู
An Improved TMAH solution by adding silicic acid for UMSM Photodetectors Fabrication
ผู้จัดทำ นาย คณิตกร สารคามมงคล รหัสประจำตัว 57010131
นาย นรภัทร เนียมเจริญ รหัสประจำตัว 57010662

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------------------|---|-----------------------|
| หัวข้อโครงการ | การปรับปรุงสารละลาย TMAH โดยการเติมกรดซิลิสิกสำหรับกร | |
| | สร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปด้วย | |
| นักศึกษา | นาย คณิตกร สารคามมงคล | รหัสประจำตัว 57010131 |
| | นาย นรภัทร เนียมเจริญ | รหัสประจำตัว 57010662 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | |
| ภาควิชา | วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ | |
| ปีการศึกษา | 2560 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ | ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ | |

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการกัดแผ่นซิลิคอนแบบร่องรูปด้วยที่ใช้สารละลายเตตระเมธิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Tetramethyl ammonium Hydroxide : TMAH) และเติมกรดซิลิสิก (silicic acid) โดยในการทดลองแรกเป็นการกัดแผ่นซิลิคอนโดยกำหนดความเข้มข้นสารละลาย TMAH ในการกัดที่ 5 wt% ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic ที่ปริมาตร 30 - 40 g/l ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรของกรด silicic มีผลให้อัตราการกัดของอลูมิเนียมและซิลิคอนไดออกไซด์ ลดลง จึงได้เงื่อนไขที่เหมาะสมคือการใช้ TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l และในการทดลองที่สองเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวซิลิคอนและอลูมิเนียม ในการทดลองที่สามเป็นการเปรียบเทียบอัตราการกัดของอลูมิเนียมและซิลิคอนของชิ้นงานเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน ทำให้ทราบว่าอัตราการกัดอลูมิเนียมของ TMAH ที่เติม silicic acid นั้นมีค่าน้อยกว่าอัตราการกัดอลูมิเนียมของ TMAH ที่เติมผงซิลิคอน 8 เท่า และในการทดลองที่สี่เป็นการเปรียบเทียบพื้นผิวซิลิคอนของชิ้นงานเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอนและการใช้สารละลาย KOH ทำให้ทราบว่าความขรุขระขณะของการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic มีความสม่ำเสมอและขนาดพีระมิดใกล้เคียงมากที่สุด และในการทดลองที่ห้าเป็นการศึกษาค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสงโดยการวัดค่ากระแส-แรงดันนั้นจะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกนั้นจะทำการวัดค่าของตัวตรวจวัดแสงขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบเพื่อหากระแสรั่วและส่วนที่สองนั้นจะทำการวัดค่าของตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแสงตกกระทบเพื่อหากระแสแสง และในการทดลองที่หกเป็นการศึกษาค่ากระแสรั่วเมื่อนำตัวตรวจวัดแสงที่ได้สร้างขึ้นมานั้น มาผ่านกระบวนการชินเตอร์ริงทำให้ค่ากระแสรั่วที่ได้นั้นมีค่า ตัวตรวจวัดแสงในเงื่อนไขจึงเป็นที่น่าสนใจกับการนำไปพัฒนาเป็นตัวตรวจวัดแสงที่สามารถรับความเข้มแสงได้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น

| | | |
|-----------------|--|---------------------|
| Project Title | An improved TMAH solution by adding silicic acid for UMSM photodetectors fabrication | |
| Student | Mr.Kanitkorn Sarakhammongkol | Student ID 57010131 |
| | Mr.Norapat Niemcharoen | Student ID 57010662 |
| Degree | Bachelor of Engineering | |
| Program | Electronics Engineering | |
| Year | 2017 | |
| Project Advisor | Dr.Rangson Muanghlua | |

Abstract

This project proposes the etching of silicon wafer with U-shaped Using Tetramethylammonium Hydroxide (TMAH) solution added silicic acid. Firstly experiment, studying about the etching with the TMAH solution at 5 wt% and the TMAH solution at 5 wt% add silicic acid at 30 - 40 g/l sequentially. The result shows increasing volume of silicic acid leads to etching rate of Al and SiO₂ is decrease. So, the best condition for next studying is using TMAH solution in concentration at 5 wt% adds silicic acid at 34 g/l. In the second experiment, studying about surface of silicon and Al. In the third experiment, comparing about the etching rate of Al and Si of silicon wafer using TMAH, TMAH added silicic acid and TMAH added silicon powder. The result shows using TMAH added silicic acid etch Al less than using TMAH added silicon powder for 8 times. In the fourth experiment, this experiment compare surface of silicon using TMAH, TMAH added silicic acid, TMAH added silicon powder and KOH. The result shows using TMAH added silicic acid has the same pyramids size and pyramids uniform that better than other conditions. In the fifth experiment, the result separates in two parts. In part one study on the current and voltage when the light is not affected and part two study on the current and voltage of the same photodetector when the light is affected. In the last experiment, we study on the current and voltage when the light is not affected after sintering process. So, this condition suits to fabricate photodetector which is more efficient than another photodetector about detecting light.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านด้วยกันทางผู้จัดทำจึงขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ และ รศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้

ขอขอบคุณ นางสาวกมลวรรณ สุทธิเจริญ และ นายทิมพร จันทร์เพ็ญ ที่ช่วยชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานและสอนทุกกระบวนการในการทดลอง อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ (ERC) สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้สถานที่ในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ที่ ช่วยเหลือในด้านเทคโนโลยีการสร้างและอุปกรณ์วัดชิ้นงาน

คณิตกร สารคามมงคล
นรภัทร เนียมเจริญ

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญรูปภาพ | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัยและขั้นตอนการศึกษา | 3 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 5 |
| 2.1 โฟโตลิโทกราฟี (Photolithography) | 5 |
| 2.1.1 เทคนิคโฟโตลิโทกราฟี | 5 |
| 2.1.2 น้ำยาไวแสง หรือสารไวแสง (Photo-resist) | 6 |
| 2.2 การกัด (Etching) | 8 |
| 2.2.1 การกัดแบบแห้ง (Dry etching) | 8 |
| 2.2.2 การกัดแบบเปียก (Wet etching) | 9 |
| 2.3 สารละลายที่ใช้ในการทดลอง | 12 |
| 2.3.1 การกัดเปียกแบบแอนไอโซทรอปิกโดยใช้สารละลาย TMAH | 12 |
| 2.3.2 กรดซิลิสิก (Silicic acid) | 14 |
| 2.4 การกัดแผ่นผลึกซิลิคอนแบบแอนไอโซทรอปิก | 15 |
| 2.4.1 ปฏิกิริยาการกัดซิลิคอน | 15 |
| 2.4.2 โครงสร้างอะตอมของซิลิคอน | 15 |
| 2.5 เครื่องมือวัด | 18 |
| 2.5.1 เครื่องมือวัดพื้นผิวซิลิคอน Microscope | 18 |
| 2.5.2 เครื่องมือวัดค่าความลึก Profilometer | 18 |
| 2.5.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM | 19 |

สารบัญ(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| 2.6 ตัวตรวจวัดแสง | 20 |
| 2.6.1.ตัวตรวจวัดแสงในสภาวะสมดุล | 20 |
| 2.6.2.ตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแรงดันไบอัส | 21 |
| 2.6.3.ตัวตรวจวัดแสงเมื่อมีความเข้มแสงตกกระทบ | 22 |
| 2.7 กระบวนการซินเตอร์িং | 24 |
| บทที่ 3 กระบวนการสร้างและการทดลอง | 27 |
| 3.1 การออกแบบลาดลาย | 27 |
| 3.2 เซ็อนไซที่ใช้ในกระบวนการกัดแผ่นซิลิคอน | 27 |
| 3.3 กระบวนการสร้าง | 28 |
| 3.3.1 กระบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอน | 28 |
| 3.3.2 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor) | 29 |
| 3.3.3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี | 29 |
| 3.3.4 กระบวนการกัดแผ่นซิลิคอน | 33 |
| 3.3.5 กระบวนการซินเตอร์িং | 34 |
| 3.4 การทดลอง | 34 |
| 3.4.1 เครื่องมือวัดพื้นผิวซิลิคอน Microscope | 34 |
| 3.4.2 เครื่องมือวัดค่าความลึก Profilometer | 35 |
| 3.4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 35 |
| 3.4.4 การวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า | 36 |
| 3.4.5 การวัดการตอบสนองทางแสง | 37 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 38 |
| 4.1 ลักษณะทางกายภาพของอลูมิเนียม, ซิลิคอนไดออกไซด์ และพื้นผิวซิลิคอน | 38 |
| 4.1.1 ผลจากอัตราการกัดอลูมิเนียม | 38 |
| 4.1.2 ผลจากอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์ | 39 |
| 4.1.3 ผลจากความลึกของอลูมิเนียม | 41 |
| 4.1.4 ผลความลึกของซิลิคอน | 42 |
| 4.2 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวซิลิคอนและอลูมิเนียม | 43 |
| 4.2.1 พื้นผิวซิลิคอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง | 43 |

สารบัญ(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| 4.2.2 พื้นผิวอะลูมิเนียมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 44 |
| 4.3 เปรียบเทียบอัตราการกัดอะลูมิเนียมและพื้นผิวซิลิคอน เมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่เติมกรด Silicic เทียบกับการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน | 44 |
| 4.3.1 เปรียบเทียบอัตราการกัดอะลูมิเนียม | 45 |
| 4.3.2 เปรียบเทียบอัตราการกัดซิลิคอน | 46 |
| 4.4 เปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอน | 47 |
| 4.4.1 ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% | 47 |
| 4.4.2 ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรดซิลิสิก 34 g/l | 47 |
| 4.4.3 ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/l | 48 |
| 4.5 เปรียบเทียบค่ากระแสแรงดันของตัวตรวจวัดแสง | 49 |
| 4.5.1 ค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ | 49 |
| 4.5.2 ค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแสงตกกระทบ | 50 |
| 4.5.3 เปรียบเทียบค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบพลาแนร์และตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยู | 53 |
| 4.6 การทดสอบผลของอุณหภูมิในกระบวนการขึ้นเตออริงที่มีผลต่อกระแสรั่วของตัวตรวจวัดแสง | 55 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 57 |
| เอกสารอ้างอิง | 60 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 อัตราการกัดของสารละลาย TMAH | 13 |
| 2.2 การขึ้นเตอรืงที่อุณหภูมิค่าต่างๆ ของรอยสัมผัสอะลูมิเนียมบริสุทธิ์กับซิลิคอน | 26 |
| 4.1 เปรียบเทียบอัตราการกัดของอลูมิเนียมและซิลิคอนไดออกไซด์เมื่อเติมกรดซิลิสิค | 40 |
| 4.2 แสดงค่ากระแสรั้วที่แรงดันไบอัส 10 V ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบเชิงราบ และแบบร่อง รูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติมกรด silicic และสารละลาย KOH..... | 50 |
| 4.3 แสดงค่ากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบเชิงราบและแบบร่องรูปตัวยู เมื่อจ่ายแรงดันไบอัส 10 V | 55 |



สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์..... | 1 |
| 1.2 ชั้น SiO ₂ ที่สร้างจากวิธี PECVD หรือ Oxidation..... | 2 |
| 2.1 แสดงการเคลือบผิวหน้าด้วยน้ำยาไวแสง (Photoresist)..... | 8 |
| 2.2 ลักษณะการกัดเปียกแบบไอโซทรอปิก..... | 9 |
| 2.3 ลักษณะการกัดเปียกแบบแอนไอโซทรอปิก..... | 10 |
| 2.4 แผนผังของพื้นระขีลิกอน (A) ระนาบ (100) และ (B) ระนาบ (111)..... | 11 |
| 2.5 พื้นระของกรตขีลิสติค..... | 14 |
| 2.6 ขีลิกอนมีลักษณะโครงสร้างเป็น FCC (face-centered cubic) พื้นระในอะตอมขีลิกอนระนาบ (100) พื้นระในอะตอมขีลิกอนระนาบ (111) พื้นระในอะตอมขีลิกอนระนาบ (110)..... | 16 |
| 2.7 ลักษณะของการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกโดยมีขนาดของมุม 54.7°..... | 17 |
| 2.8 กล้องไมโครสโคป..... | 18 |
| 2.9 เครื่อง Profilometer..... | 18 |
| 2.10 Scanning Electron Microscope..... | 19 |
| 2.11 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสงในสภาวะสมดุลความร้อน..... | 21 |
| 2.12 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างสองรอยสัมพันธ์ก็เมื่อได้รับแรงดันไบอัส..... | 22 |
| 2.13 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง เมื่อได้รับไบอัสและมีแสงตกกระทบ..... | 22 |
| 2.14 ลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแสงตกกระทบ..... | 24 |
| 2.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมพันธ์ Al-Si/p+/p-Si ที่อุณหภูมิซินเตอร์ค่าต่างๆ..... | 25 |
| 3.1 ลวดลายกระจกต้นแบบของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al..... | 27 |
| 3.2 กระบวนการโฟโตลิโธกราฟี..... | 30 |
| 3.3 กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง UMMSM..... | 31 |
| 3.3 (ต่อ)กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง UMMSM..... | 32 |
| 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการกัดแผ่นขีลิกอน..... | 33 |
| 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการซินเตอร์..... | 34 |
| 3.6 กล้องไมโครสโคป รุ่น OLYMPUS BX51..... | 34 |
| 3.7 เครื่อง Profilometer บริษัท Veeco รุ่น Dektak 150..... | 35 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.8 Scanning Electron Microscope | 36 |
| 3.9 เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ | 36 |
| 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดต่อลุ่มิเนียมกับกรด silicic ที่เติมในสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80°C..... | 39 |
| 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์กับกรด silicic ที่เติมในสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80°C..... | 39 |
| 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของ Al กับเวลาดำยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C..... | 41 |
| 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของ Si กับเวลาดำยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C..... | 42 |
| 4.5 พื้นผิวซิลิคอนหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic acid 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1500 เท่า..... | 43 |
| 4.6 พื้นผิวซิลิคอนหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic acid 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด | 44 |
| 4.7 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดต่อลุ่มิเนียมกับเงื่อนไซของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80°C..... | 45 |
| 4.8 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดซิลิคอนกับเงื่อนไซของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80°C | 46 |
| 4.9 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80 °C..... | 47 |
| 4.10 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรดซิลิสิค 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80 °C..... | 48 |
| 4.11 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/l ที่อุณหภูมิ 80 °C..... | 48 |
| 4.12 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบพลาหน้าขณะเมื่อได้รับแสงตกกระทบ..... | 51 |
| 4.13 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% เมื่อได้รับแสงตกกระทบ | 51 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.14 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร็องรูปตัวยู โดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l เมื่อได้รับแสงตกกระทบ | 52 |
| 4.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร็องรูปตัวยู โดยใช้สารละลาย KOH 20 wt% เมื่อได้รับแสงตกกระทบ | 53 |
| 4.16 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบพลาสมาและตัวตรวจวัดแสง แบบร็องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติมกรด silicic และสารละลาย KOH..... | 54 |
| 4.17 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบร็องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l เมื่อไม่ได้รับแสงตกกระทบทั้งก่อนกระบวนการขึ้นเตอริง และหลังกระบวนการขึ้นเตอริง | 56 |

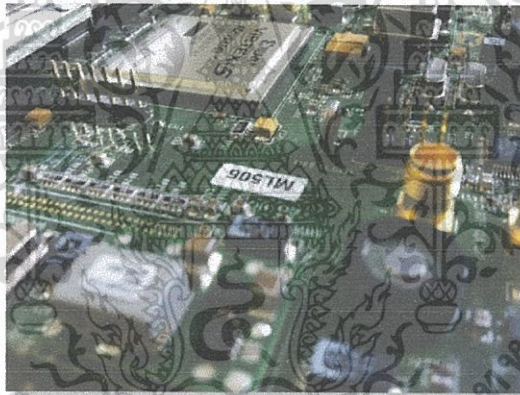


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทั่วไปล้วนเกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ทั้งทางด้านการคมนาคม การแพทย์ การสื่อสาร ความปลอดภัย และอื่นๆอีกมากมาย[2] สิ่งต่างๆเหล่านี้มีส่วนประกอบสำคัญที่คล้ายๆกัน คือสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว โดยในโครงการนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่สำคัญซึ่งเรียกว่า ตัวตรวจวัดแสง[15]



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งตัวตรวจวัดแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปริมาณความเข้มของแสงในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยตัวตรวจวัดแสงมีหลากหลายโครงสร้างแบ่งตามการใช้งาน และในโครงการนี้จะศึกษาตัวตรวจวัดแสงที่มีโครงสร้างแบบโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ (metal-semiconductor-metal : MSM) ที่ผ่านการกัดชั้นงานเป็นแบบร่องรูปตัวยู (UMSM)[9] โดยสิ่งสำคัญของโครงสร้างนี้เป็นโครงสร้างที่เป็นรอยต่อสัมผัสชนิดตึกี้ 2 รอยสัมผัสที่มีความโดดเด่นคือ ความจุไฟฟ้าต่ำ ทำงานด้วยความเร็วสูง มีเสถียรภาพที่ดี มีสภาพการตอบสนองที่ดี และที่สำคัญสามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย[4][5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนการสร้างของตัวตรวจวัดแสงที่เคยทดลองต้องผ่านกระบวนการสร้างชั้น SiO_2 (Silicon dioxide) ที่ปกคลุมโลหะ เพื่อป้องกันการถูกกัดจากสารละลาย ด้วยวิธี PECVD หรือ Oxidation ในกระบวนการ PECVD นั้นมีข้อดีที่การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้ซิลิโคนที่ใช้ไม่โดยผลกระทบจากความร้อน แต่มีข้อเสียที่สารตั้งต้นที่ใช้เป็นสารที่อาจจะเกิดการระเบิดและเกิดอันตรายต่อผู้ทดลองได้[3] และวิธี Oxidation มีข้อดีที่เลือกการสร้างได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้งและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้แต่มีข้อเสียที่อุณหภูมิที่ใช้สูงถึง 1000 องศาเซลเซียสซึ่งมีผลกระทบต่อซิลิโคนอย่างมากและใช้เวลาในการสร้างนานถึง 3 – 4 ชั่วโมง เนื่องด้วยข้อเสียทั้งด้านอันตรายต่อผู้ใช้และใช้เวลาในการสร้างนาน[8] โดยในโครงงานนี้จะทดแทนกระบวนการข้างต้นที่ไม่จำเป็นไม่จำเป็นต้องสร้างชั้น SiO_2 ในการป้องกันซิลิโคน โดยหาวิธีการอื่นที่ช่วยให้เกิดการกัดซิลิโคนน้อยที่สุดและยังกัดส่วนของซิลิโคนที่มากอยู่



รูปที่ 1.2 ชั้น SiO_2 ที่สร้างจากวิธี PECVD หรือ Oxidation

โดยการศึกษาที่ผ่านมาได้ใช้วิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดซิลิโคนน้อยลงโดยการใช้ผงซิลิโคนที่เติมลงไปพร้อมกันแผ่นชิ้นงานเมื่อเริ่มทำการกัดแต่ผงซิลิโคนนั้นหายากและมีกระบวนการเตรียมผงซิลิโคนที่ต้องใช้เวลานาน[7]จึงหาวิธีการอื่นที่ช่วยลดให้ราคาถูกลงเหมาะแก่การศึกษา และในการศึกษาที่ผ่านมาการศึกษาเกี่ยวกับพื้นผิวหลังการกัดของซิลิโคนที่เกิดพีระมิดบนผิวของซิลิโคนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งพีระมิดบนพื้นผิวจะช่วยเพิ่มพื้นที่รับแสงได้มากขึ้นและลดความสามารถในการสะท้อนของแสงลง[15]

จากการศึกษาที่ผ่านมาข้างต้น โครงงานนี้จึงจะทำการศึกษาระบบการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al กระบวนการกัดแผ่นซิลิโคน และศึกษากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงโดยใช้สารละลาย TMAH (Tetramethyl ammonium Hydroxide) ที่เติมกรด silicic โดยกัดซิลิโคนเป็นแบบร่องรูปตัวยูเพื่อศึกษาอัตราการกัดโลหะที่ลดลงเมื่อเติมกรด silicic อีกทั้งกรด silicic ที่เติมลงไปนั้นช่วยให้พื้นผิวของซิลิโคนเกิดพีระมิดอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความสามารถในการรับแสงของตัวตรวจวัดแสงดีขึ้นอีกด้วย[16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงการวิจัยครั้งนี้จะนำเสนอการศึกษากระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al ศึกษาอัตราการกัด Si SiO₂ และ Al และศึกษากระแสแสงเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่เติม silicic acid ในเงื่อนไขต่างๆ และนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไขต่างๆ

1. ศึกษากระบวนการกัดแบบร่องรูปตัวยูที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic
2. ศึกษาอัตราการกัดซิลิคอน ซิลิคอนไดออกไซด์ และ อลูมิเนียมของชิ้นงานที่กัดเป็นแบบร่องรูปตัวยู เมื่อกัดด้วยสารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic
3. เปรียบเทียบอัตราการกัดซิลิคอนและอลูมิเนียมของชิ้นงานเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน
4. เปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอนเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน และการใช้สารละลาย KOH
5. เปรียบเทียบกระแสและแรงดันที่มีและไม่มีแสงตกกระทบของตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบและแบบร่องรูปตัวยู เมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติม กรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน และการใช้สารละลาย KOH
6. เปรียบเทียบกระแสและแรงดันเมื่อไม่มีแสงตกกระทบก่อนกระบวนการขึ้นเตอริงและหลังผ่านกระบวนการขึ้นเตอริงของตัวตรวจวัดแสงที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic

1.3 ขอบเขตการวิจัยและขั้นตอนการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยฉบับนี้ต้องการศึกษากระบวนการกัดชิ้นงานแบบร่องรูปตัวยูที่กัดด้วยสารละลาย TMAH โดยการเติม silicic acid ศึกษาอัตราการกัดซิลิคอน ซิลิคอนไดออกไซด์ และ อลูมิเนียมเปรียบเทียบอัตราการกัด Si และ Al เปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอน และเปรียบเทียบกระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง จึงแบ่งการศึกษาเป็น 5 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนแรกทำการศึกษาอัตราการกัดซิลิคอน ซิลิคอนไดออกไซด์ และ อลูมิเนียมโดยใช้สารละลาย TMAH โดยการเติม silicic acid ในเงื่อนไขต่างๆ

ส่วนที่สองนำแผ่นซิลิคอนไปกัดแบบแอนไอโซทรอปิกเป็นร่องรูปตัวยูโดยใช้เงื่อนไขที่มีอัตราการกัดที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากส่วนแรกเพื่อนำไปศึกษาต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สามนำชิ้นงานที่สร้างมาเปรียบเทียบอัตราการกัดซิลิคอนและอลูมิเนียมเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน และเปรียบเทียบพื้นผิวซิลิคอนด้วยเงื่อนไขเดียวกัน

ส่วนที่สี่นำชิ้นงานที่สร้างมาเปรียบเทียบกระแสและแรงดันที่มีและไม่มีแสงตกกระทบ เมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน และการใช้สารละลาย KOH

ส่วนที่ห้านำชิ้นงานที่สร้างมาผ่านกระบวนการซินเตอร์ริงและนำไปเปรียบเทียบกับค่ากระแสและแรงดันเมื่อไม่มีแสงตกกระทบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีและกระบวนการกัดชิ้นงานให้เป็นแบบร่องรูปตัวยู
2. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอัตราการกัดซิลิคอน ซิลิคอนไดออกไซด์ และอลูมิเนียมของชิ้นงานแบบร่องรูปตัวยู เมื่อกัดด้วยสารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic
3. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอัตราการกัดซิลิคอนและอลูมิเนียมของชิ้นงานโดยทำการเปรียบเทียบการใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน
4. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นผิวซิลิคอนของชิ้นงานโดยเปรียบเทียบการใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอนและการใช้สารละลาย KOH
5. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระแสแสงของชิ้นงานโดยเปรียบเทียบการใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic การใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอนและการใช้สารละลาย KOH กับตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบ
6. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระแสรั่วของชิ้นงานภายหลังกระบวนการซินเตอร์ริงโดยเปรียบเทียบค่ากระแสรั่วกับชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการซินเตอร์ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการกัดซิลิคอนแบบร่องรูปด้วยแบบแอนไอโซทรอปิก (anisotropic etching) โดยใช้สารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Tetramethyl Ammonium Hydroxide : TMAH) และกรดซิลิสิก (Silicic acid) ที่มีผลต่ออัตราการกัดซิลิคอน (Si), อลูมิเนียม (Al) และ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) และเปรียบเทียบอัตราการกัด Si และ Al กับการเติมผงซิลิคอนลงในสารละลาย TMAH เปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอนหลังการกัด และเปรียบเทียบกระแสแสง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

2.1 โฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)

2.1.1 เทคนิคโฟโตลิโทกราฟี

โดยทั่วไปแล้วคำว่า ลิโทกราฟี (lithography) หมายถึง การพิมพ์ภาพด้วยแม่พิมพ์เรียบที่เป็นหินหรือโลหะ แต่ในกระบวนการสร้างวงจรรวม เทคนิคของโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography) หมายถึง เทคนิคการกัด (Etching) ชั้นสารหรือวัสดุใดๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักได้แก่ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ในบางส่วน หรือในบริเวณที่ต้องการ โดยอาศัยเทคนิคทางแสง (Optical Technique) ซึ่งคล้ายกับเทคนิคในการถ่ายภาพ หรือพิมพ์ภาพ เพราะการที่ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์บนแผ่นซิลิคอนบางส่วนถูกกัด หรือละลายออกไป ด้วยสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาจะมีผลทำให้เกิดเป็นภาพหรือลวดลายขึ้นบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์นั่นเอง[3]

ในงานทางอิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ที่เรียกว่า “ไมโครอิเล็กทรอนิกส์” ชิ้นส่วนของสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ จะมีขนาดที่เล็กมาก เช่นมีขนาดเป็นไมโครเมตร ดังนั้นการประดิษฐ์ หรือสร้างส่วนต่างๆ ที่มีขนาดเล็กเช่นนี้ ไม่สามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์ทั่วไป ดังนั้นจึงมีวิธีการสมัยใหม่ที่เรียกว่า “การสร้างลวดลายไมโครอิเล็กทรอนิกส์” โดยอาศัยเทคนิคด้านแสง หรือรังสีต่างๆ เช่น แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีเอกซ์ (X-Ray) หรือลำเลเซอร์ (Laser) หรือลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ร่วมกับการใช้ภาพต้นแบบ (Image) และสารไวแสงหรือน้ำยาไวแสง (Photo sensitive film) เช่นฟิล์มไวแสงชนิดต่างๆ ทำการพิมพ์ภาพต่างๆ ลงบนชั้นวัสดุใดๆ เช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ ซิลิคอน หรืออลูมิเนียม เป็นต้น ชั้นสารต่างๆ เหล่านี้จะถูกกัดโดยปฏิกิริยาเคมีจากสารเคมีบางชนิด ทำให้เกิดเป็นภาพหรือลวดลายที่มีขนาดเล็กๆได้ วิธีการหรือเทคนิคดังกล่าวถูกเรียกว่า “กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี” หรือบางครั้งเรียกสั้นๆว่า “กระบวนการโฟโตเอชซี” ซึ่งเทคนิคดังกล่าวนี้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการสร้างวงจรรวม กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี นี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีวงจรรวม เพราะการเปิดช่องของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ขนาดเล็กมากๆ ในระดับไมโครเมตรสามารถทำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อแพะอะตอมสารเจือเข้าไปในผลึกซิลิคอนในบริเวณพื้นที่เล็กๆเช่นนี้ ทำให้เกิดเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ ที่มีขนาดเล็กๆได้ การเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิคโฟโตลิโทกราฟีให้สามารถเปิดชั้นออกไซด์ที่มีขนาดเล็กมากๆได้ หมายถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง ซึ่งปัจจุบันนี้ เราสามารถสร้างตัวทรานซิสเตอร์ที่มีขนาดเล็กมากกว่าหนึ่งไมโครเมตรได้สำเร็จ ซึ่งเราเรียกเทคนิคนี้ว่า “ซัพไมครอนเทคโนโลยี” เช่นในวงจรรวมระดับ VLSI ซึ่งในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางเซนติเมตร จะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์มากกว่า 1 ล้านตัว นั้นแสดงให้เห็นว่าทรานซิสเตอร์ในวงจรรวมนี้มีขนาดเล็กมาก

2.1.2 น้ำยาไวแสง หรือสารไวแสง (Photo-resist)

วัสดุซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีก็คือ สารไวแสง หรือน้ำยาไวแสง ซึ่งเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับแสงได้ โดยฟิล์มของสารไวแสงนี้ จะถูกนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้นระหว่างวัสดุใดๆ กับสารเคมีบางชนิดที่เป็น Etchant เพราะฟิล์มบางของสารไวแสงนี้จะไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีนั้นๆ คุณสมบัติดังกล่าวถูกนำมาใช้กับการเปิดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เพื่อการแพร่สารเจือในบางส่วน หากบริเวณใดต้องการให้ชั้นออกไซด์อยู่ก็ใช้ฟิล์มบางของสารไวแสงนี้บังหรือปกคลุมไว้[8] ส่วนบริเวณใดที่ต้องการกัดชั้นออกไซด์ออก ก็ไม่ต้องมีชั้นสารไวแสงปิดไว้ น้ำยาไวแสงที่นำมาใช้ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสิ่งสำคัญต่างๆ คือวัสดุที่เป็นสารไวแสง (Photo sensitive material) ส่วนที่เป็นสารละลาย (Solvent) และส่วนที่เป็นสารเพื่อช่วยในการยึดติดกับผิวใดๆ(Epoxy) และโดยการพิจารณาปฏิกิริยาทางเคมีและแสง (Chemical-Photo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reaction) ของวัสดุไวแสงที่อยู่ในน้ำยาไวแสง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญ ทำให้เราจำแนกน้ำยาไวแสง ออกเป็นชนิดใหญ่ๆ 2 ชนิดคือ

2.1.2.1 น้ำยาไวแสงชนิดลบ (Negative Photo resist)

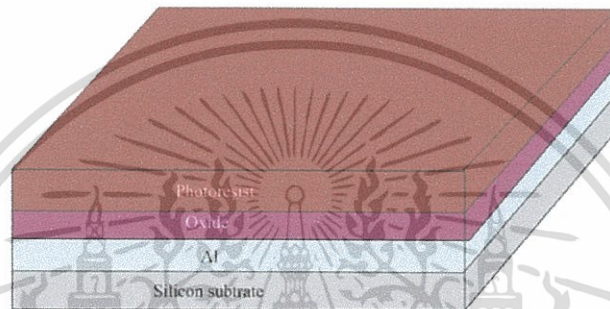
หมายถึงน้ำยาไวแสงที่เมื่อฉายด้วยแสง และมีปฏิกิริยา-แสงเกิดขึ้นแล้ว จะทำให้คุณสมบัติของการละลายของการละลายในสารตัวทำละลาย หรือเรียกว่าน้ำยาล้างฟิล์ม (Developer) เปลี่ยนแปลงไป โดยในขณะที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแสงจะสามารถละลายได้ดีในสารตัวทำละลาย แต่เมื่อถูกแสงแล้ว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปคือ ไม่สามารถละลายได้ น้ำยาไวแสงชนิดลบนี้จะ เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในฟิล์มถ่ายรูปทั่วไป[8] ซึ่งภาพที่ปรากฏบนฟิล์มจะมี ลักษณะเป็นภาพเนกาทีฟ (Negative image) คือจะมีสภาพตรงข้ามกับภาพ ต้นแบบ เช่นเปลี่ยนจากขาวเป็นดำหรือดำเป็นขาว ถ้าต้องการภาพที่เหมือนกับ ต้นแบบจริงจะต้องนำฟิล์มที่ได้ไปพิมพ์ หรืออัดภาพบนกระดาษอัดภาพอีกที หนึ่ง จึงจะได้ภาพที่เหมือนต้นแบบ ผลของปฏิกิริยาของเคมี-แสงของน้ำยาไว แสง ซึ่งจะให้ภาพเนกาทีฟดังกล่าว ทำให้ถูกเรียกว่าน้ำยาไวแสงชนิดลบ

2.1.2.2 น้ำยาไวแสงชนิดบวก (Positive Photo resist)

น้ำยาไวแสงชนิดนี้จะประกอบด้วยวัสดุสารไวแสง (Photo sensitive) ซึ่งมีคุณสมบัติ ปฏิกิริยาเคมี-แสง ที่แตกต่างกับกรณีของน้ำยาไวแสงชนิดลบ โดยจะให้ผลตรงกัน ข้าม กล่าวคือเมื่อยังไม่ถูกแสง หรือเมื่อไม่มีปฏิกิริยา กับแสงจะมีสมบัติไม่ละลายในสารตัวทำละลาย หรือน้ำยาล้างฟิล์ม (Developer) แต่เมื่อถูกแสงหรือมีปฏิกิริยาแล้วคุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปคือ สามารถละลายได้ดีในน้ำยาล้าง[8] น้ำยาไวแสงชนิดนี้จะมีลักษณะเหมือนกัน ฟิล์มสไลด์ (Slide film) หรือฟิล์มภาพยนตร์ ซึ่งจะให้ภาพบนฟิล์มมีลักษณะที่ เป็นภาพโพสิทีฟ (Positive image) ซึ่งเป็นภาพจริงเหมือนกับภาพต้นแบบ ดังนั้นเราจึงเรียกน้ำยาไวแสงชนิดนี้ว่า น้ำยาไวแสงชนิดบวก

ในงานการสร้างวงจรรวมสามารถใช้น้ำยาไวแสงได้ทั้งชนิดบวกและ ชนิดลบ และคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำยาไวแสงก็คือ ความละเอียด (Resolution) ซึ่งอาจหมายถึงความละเอียดของภาพที่จะสามารถทำได้ สำหรับ งานวงจรรวมขั้นสูงที่มีขนาดเล็กมากๆ น้ำยาไวแสงที่ใช้จะต้องมีความละเอียด

สูง (High resolution) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำยาไวแสง นอกจากนี้ ปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับความละเอียดของภาพก็คือ ชนิดของแสงที่ใช้ เช่นแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่ความถี่ต่างๆ รังสีเอกซ์หรือลำอิเล็กตรอน โดยที่แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นๆ จะสามารถทำให้ได้ภาพที่มีความละเอียดสูง เป็นต้น น้ำยาไวแสงที่มีขายในท้องตลาดและใช้ในการสร้างวงจรรวมมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละผู้ผลิตจะใช้ชื่อเรียกเฉพาะทางการค้าและมีคุณสมบัติต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.1 แสดงการเคลือบผิวหน้าด้วยน้ำยาไวแสง (Photoresist)

2.2 การกัด (Etching)

กระบวนการกัดโดยทั่วไปจะเป็นการสร้างสวดลายวงจรรในงานอิเล็กทรอนิกส์โดยกระบวนการกัดจะมีสองประเภทคือ การกัดแบบเปียก (wet etching) และการกัดแบบแห้ง (dry etching)[11] เมื่อทำการกัดผิวหน้าของวัสดุด้วยสารเคมีหรือก๊าซแล้วนั้นจะทำให้ผิวหน้าของวัสดุมีลักษณะเป็นไอโซทรอปิก (isotropic) จะกัดแบบสม่ำเสมอในทุกทิศทาง หรือแอนไอโซทรอปิก (anisotropic) จะกัดแบบสม่ำเสมอในทิศทางของระนาบ การกัดแบบเปียกมักจะมีอัตราการกัดที่เร็วกว่าการกัดแบบแห้งและสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดได้โดยอุณหภูมิที่แตกต่างกันหรือความเข้มข้นของสารขึ้นอยู่กับการใช้งาน

2.2.1 การกัดแบบแห้ง (Dry etching)[10]

ในกระบวนการกัดแบบแห้งนั้นเป็นการใช้พลาสมาหรือก๊าซในการกัดบนพื้นผิวของวัสดุ แบ่งออกเป็น 3 วิธี

- (1) การกัดแบบพลาสมา (Plasma etching)
- (2) การกัดด้วยสารเคมีแบบแห้ง (Chemical dry etching)
- (3) การกัดด้วยไอออนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive Ion Etching: RIE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การกัดแบบเปียก (Wet etching)

การกัดแบบเปียกเป็นการกัดผิวหน้าของวัสดุโดยจะใช้สารเคมีที่เป็นของเหลวหรือที่เรียกว่า “etchants” เพื่อกัดส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยจะสร้างลวดลายไว้บนผิวหน้าของวัสดุเป็นการกำหนดลวดลายก่อนทำการกัดในส่วนที่ไม่ต้องการออก[12]

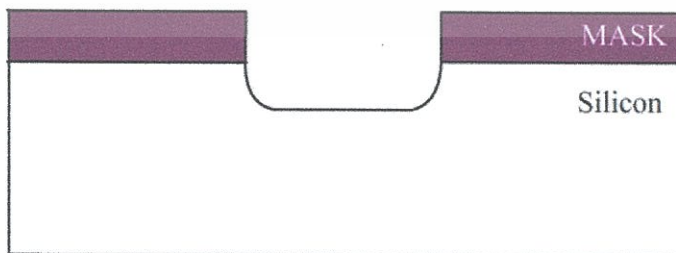
ขั้นตอนในกระบวนการกัดแบบเปียกจะต้องเกิดปฏิกิริยาทางเคมีด้วยสารละลายที่ใช้ในกระบวนการ ดังนั้นในกระบวนการกัดแบบเปียกจะอธิบายได้ 3 ขั้นตอนนี้

- (1) การแพร่กระจายของสารละลายบนผิวหน้าของวัสดุที่ไม่ต้องการ
- (2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายและผิวหน้าของวัสดุที่ไม่ต้องการ จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน (reduction-oxidation) หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ปฏิกิริยานี้จะส่งผลให้ออกซิเดชันของวัสดุที่ละลายแล้วเกิดออกไซด์
- (3) การแพร่กระจายของสารละลายโดยเกิดปฏิกิริยาขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุที่มีปฏิกิริยาตอบสนอง

การกัดแบบเปียกจะแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

(1) การกัดเปียกแบบไอโซทรอปิก (isotropic etching)

การกัดเปียกแบบไอโซทรอปิกจะมีส่วนผสมของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กรดไนตริก (nitric acid) และกรดอะซิติก (acetic acid) เป็นสารละลายที่ให้สำหรับทำการกัดซิลิคอน โดยการกัดนั้นจะมีความเข้มข้นของสารละลายที่เป็นการกำหนดอัตราการกัดและการกัดส่วนใหญ่จะใช้ซิลิคอนออกไซด์หรือซิลิคอนไนไตรด์เพื่อเป็นการลดอัตราการกัดลง การกัดด้วยสารเคมีโดยทั่วไปมักจะเป็นลักษณะไอโซทรอปิก ทิศทางของการกัดนั้นมีความสำคัญมากสำหรับรูปแบบการถ่ายโอนความละเอียดสูงดังรูปที่ 2.2 แต่การกัดเปียกแบบไอโซทรอปิกจะไม่นิยมนำมาใช้ทำการกัดซิลิคอน

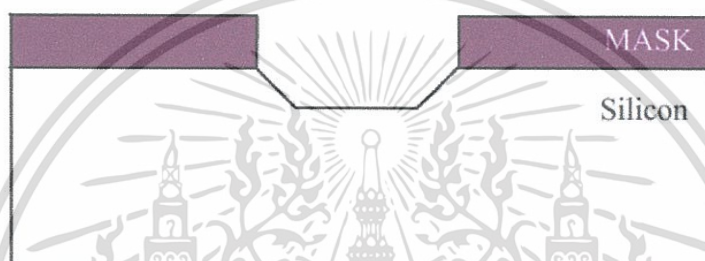


รูปที่ 2.2 ลักษณะการกัดเปียกแบบไอโซทรอปิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การกัดเป็ยกแบบแอนไอโซทรอปิก (anisotropic etching)

สารละลายที่ทำการกัดบนผิวหน้าของวัสดุ ในอัตราที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลึกของวัสดุกับสารละลายที่ใช้ในการกัดซึ่งจะมีความแตกต่างของอัตราการกัดขึ้นอยู่กับระนาบของผลึกในวัสดุ เช่น ซิลิคอนจะเกิดการกัดในลักษณะแบบแอนไอโซทรอปิกสูงมาก สารละลายบางตัวเท่านั้นที่จะทำให้เกิดการกัดเป็ยกแบบแอนไอโซทรอปิกได้ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), เอธิลีนไดเอมมีน ไพโรคาทิกคอล (EDP) และเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TMAH) การกัดซิลิคอนแบบแอนไอโซทรอปิกในระนาบ (100) จะมีลักษณะเป็นร่องรูปตัวยู[13] แสดงในดังรูปที่ 2.3

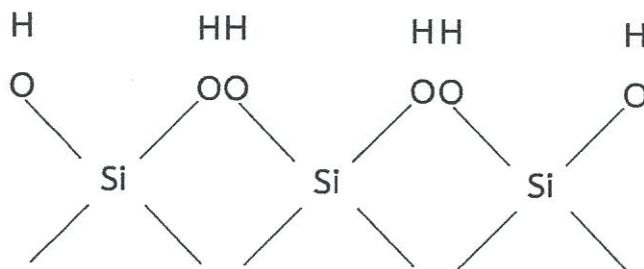


รูปที่ 2.3 ลักษณะการกัดเป็ยกแบบแอนไอโซทรอปิก

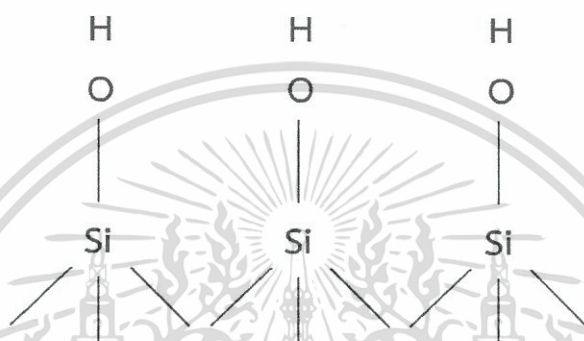
กลไกของการกัดแบบแอนไอโซทรอปิก (Mechanism of Anisotropic Etching) การกัดแบบแอนไอโซทรอปิกมีรายละเอียดเป็นอัตราการกัด การเกิดปฏิกิริยาและพื้นผิวของวัสดุ แสดงให้เห็นว่ากลไกที่ซับซ้อนมีส่วนร่วมในการกัดซิลิคอนในสารละลายที่เป็นด่าง รูปแบบของกลไกนี้มีปัจจัยอยู่ 3 แบบ (1) สาเหตุทางกายภาพของความแตกต่างในอัตราการกำจัดอะตอมจากพื้นผิวของผลึกทิศทางที่แตกต่างกัน (2) กระบวนการเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวที่เป็นสาเหตุทางกายภาพ (3) สภาพพื้นผิวที่กำหนดอัตราการกำจัดอะตอมพื้นผิว[14]

ทางกายภาพในประการแรกที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎี back-bond strength นั้นคืออะตอมในพื้นผิวของระนาบ (111) มีสามพันธะเชื่อมต่อกับตาข่ายพื้นผิว ในขณะที่พื้นผิวของระนาบ (100) นั้นมีเพียงสองพันธะที่ยึดเกาะอยู่ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.4 พันธะของอะตอมซิลิคอนบนพื้นผิวจะถูกสารละลายชนิด OH^- ดึงออกจากการยึดเกาะของพันธะ จำนวนของพันธะหลัก (back-bond) และความแข็งแรงของพันธะบนพื้นผิวเพื่อที่จะเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกันของพื้นผิวของผลึก นี่คือนสาเหตุพื้นฐานทางกายภาพของการกัดแบบแอนไอโซทรอปิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A) (100) Surface



(B) (111) Surface

รูปที่ 2.4 แผนผังของพันธะซิลิคอน (A) ระนาบ (100) และ (B) ระนาบ (111)

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของซิลิคอนจะมี 3 ส่วนในการเกิดปฏิกิริยาของการกัดชนิดนี้ในรูปแบบของการจ่ายประจุพาหะนั้นคืออิเล็กตรอนและโฮลที่อยู่บนพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำ ชนิดของสารเคมีที่มีผลต่อพื้นผิวของวัสดุ เช่น OH^- , NO_3^- และ H_2O และอะตอมซิลิคอนบนพื้นผิวที่ใช้งานซึ่งเหมาะสำหรับการเกิดปฏิกิริยาและการกำจัด ซึ่งแตกต่างจากอีกสองชนิดที่จ่ายประจุพาหะหรืออาจจะไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวแต่อาจจะเป็นปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของธรรมชาติ ความเข้มข้นของแต่ละชนิดนี้จะถูกกำหนดโดยกระบวนการที่แตกต่างกัน เช่น การแพร่กระจาย (diffusion) การโยกย้าย (migration) การดูดซับ (adsorption) และ solvation (การจับกันในลักษณะเครือข่ายของโมเลกุลตัวทำละลายกับโมเลกุลในสารละลาย) โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของอะตอมซิลิคอนบนพื้นผิวที่ใช้งานขึ้นอยู่กับทิศทางของผลึก[14]

การกัดแบบแอนไอโซทรอปิกของสารละลายที่เป็นต่างที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของซิลิคอนที่มีออกไซด์ การเกิดของฟิล์มออกไซด์ขึ้นจะปกปิดบนพื้นผิวของวัสดุซึ่งมีทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แตกต่างกันและจะทำให้มีผลต่อการกัดแบบไอโซทรอปิก นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะทำการกัดแบบไอโซทรอปิกอาจเกิดขึ้นภายใต้การควบคุมการแพร่กระจายอย่างใดอย่างหนึ่งหรือการควบคุมการใช้งานของการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกสามารถเกิดขึ้นโดยกระบวนการที่มีการควบคุมพื้นผิวอย่างน้อยสำหรับการกัดพื้นผิว การกัดแบบแอนไอโซทรอปิกไม่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการกัดทั้งหมดของพื้นผิวรวมทั้งสารละลายที่มีอัตราการกัดช้าที่สุดจะขึ้นอยู่กับสารละลาย ไม่ว่าจะเป็นการจ่ายประจุพาหะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาการกัด ประจุพาหะที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการกัดแบบไอโซทรอปิกในสารละลาย HF แต่ไม่ได้เกิดขึ้นในการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกด้วยสารละลาย KOH[11]

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะไม่ใช้การกัดแบบแห้ง เพื่อศึกษาพื้นผิวหลังการกัด แต่จะใช้การกัดแบบเปียกแทนเนื่องจากการกัดแบบแห้งนั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก, ราคาแพง และซับซ้อนต่อการใช้งาน

2.3 สารละลายที่ใช้ในการทดลอง

2.3.1. การกัดเปียกแบบแอนไอโซทรอปิกโดยใช้สารละลาย TMAH

สารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TMAH) สูตรทางเคมี $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$ เป็นสารละลายที่มี quaternary ammonium hydroxide มากที่สุดและเป็นการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกในซิลิคอน มีอัตราการกัดออกไซด์ที่ต่ำมากและจะไม่กัดอลูมิเนียมถ้ามีซิลิเกตจำนวนมากพอ สารละลาย TMAH เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายถึงแม้จะมีราคาที่สูงเพราะเป็นสารละลายที่ไม่เป็นอันตรายหรือไม่มีพิษและเป็นสารละลายที่สามารถใช้กับงาน CMOS ได้ซึ่งมีอัตราการกัดซิลิคอนในระดับปานกลาง-สูง สารละลาย เมื่อเจือสารละลาย TMAH ด้วยปริมาณที่เหมาะสมของกรด silicic จะทำให้ลดการกัดอลูมิเนียมลง[17]

ลักษณะการกัดของสารละลาย TMAH ในตารางที่ 2.1 การกัดแบบแอนไอโซทรอปิกจะมีอัตราการกัดที่มากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น ซิลิคอนไดออกไซด์ ซิลิคอนไนไตรด์และโลหะอลูมิเนียม การหยุดการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกโดยการเจือสารโบรอนมากในซิลิคอน (P^{++} etch stop) หรือการเอนเอียงของรอยสัมผัส P-N

(electrochemical etch stop)[4] ปริมาณของโบรอนจะมีผลต่ออัตราการกัดของซิลิคอน ซึ่งทำให้อัตราการกัดนั้นลดลง

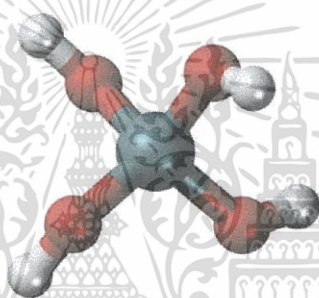
ตารางที่ 2.1 อัตราการกัดของสารละลาย TMAH

| สารละลาย | TMAH |
|--|--|
| Si etch rate ($\mu\text{m}/\text{min}$) | ≈ 1 |
| SiO_2 etch rate (nm/min) | 0.05-0.25 |
| Si_3N_4 etch rate (nm/min) | 0.05-0.25 |
| (100)/(111) etch ratio | 10-35 |
| Si roughness | moderate |
| Al selectivity | yes ⁽¹⁾ |
| Au selectivity | yes |
| P^{++} etch stop [cm^3] | $\text{B} > 2 \times 10^{20}$ ER/40 |
| Alkali ions | no |
| Cost | moderate |
| Disposal | moderate |
| Safety | high |
| (1) If specific amounts of silicon are dissolved in the etching solution | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าสารละลาย TMAH เหมาะสมสำหรับทำงานวิจัยและเป็นสารละลายที่รู้จักกันดีเพราะสารละลาย TMAH จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้าง IC เป็นการพัฒนาของ positive photoresist อัตราการกัดซิลิคอนนั้นอยู่ในระดับธรรมดา สารละลาย TMAH เหมาะสำหรับการใช้ในงานพวก CMOS ไม่มีพวกไอออนต่างตกค้างบนพื้นผิวของวัสดุ ถ้าละลายสารเจือเพื่อทำการลดอัตราการกัดอลูมิเนียมจะช่วยให้อลูมิเนียมยังคงอยู่ ข้อเสียของสารละลาย TMAH จะทำการกัดระนาบ (111) ต่ำมากและลักษณะพื้นผิวที่ผ่านการกัดจะขรุขระกว่าการกัดด้วยสารอื่น[13]

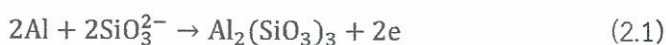
2.3.2. กรดซิลิสิก (Silicic acid)



รูปที่ 2.5 พันธะของกรดซิลิสิก

กรดซิลิสิกเป็นรูปแบบหนึ่งของซิลิคอนไดออกไซด์[16] ซึ่งมีส่วนประกอบคือซิลิคอน, ออกซิเจน, และไฮโดรเจน มีสมการคือ H_4SiO_4 เมื่อซิลิสิกโดนความร้อนแล้วจะเปลี่ยนรูปร่างเรียกว่าซิลิกาเจล

โดยกรดซิลิสิกเมื่อผสมลงในสารละลาย TMAH จะทำให้ไปจับตัวกับไฮดรอกไซด์จึงทำให้อัตราการกัดจากสารละลาย TMAH ที่เติมซิลิสิกนั้นเกิดการกัดลดลง[17]



จากสมการที่ 2.1 เป็นเหตุผลที่ทำให้อัตราการกัดอลูมิเนียมลดลงเมื่อเติมซิลิสิก โดยจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือ $Al_2(SiO_3)_3$ ซึ่งเป็นสิ่งที่ปกคลุมส่วนของอลูมิเนียมและไม่ละลายน้ำจึงทำให้ป้องกันไอออนไฮดรอกไซด์และมีอัตราการกัดอลูมิเนียมที่ลดลง



เป็นสมการการเกิดกรดซิลิสิกจากซิลิคอนไดออกไซด์และไอออนไฮดรอกไซด์ที่มารวมตัวกันดังสมการที่ 2.2[17]

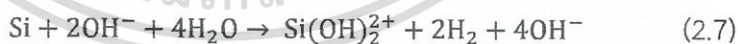
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การกัดแผ่นผลึกซิลิคอนแบบแอนไอโซทรอปิก

2.4.1 ปฏิบัติการกัดซิลิคอน

การกัดซิลิคอนด้วยวิธีที่ประสบความสำเร็จที่สุด คือ การกัดซิลิคอนด้วยสารเคมี หรือกัดด้วยพลาสมา สารเคมีที่กัดกร่อนซิลิคอนได้นั้นมีมากมาย แต่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยต่างผสมกับน้ำ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH), เอธิลีนไดเอมีน (Ethylenediamine), ไฮดราซีน (Hydrazine), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ เตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TMAH) ส่วนก๊าซที่ใช้กัดในพลาสมา ได้แก่ CF_4 , SF_6 , Cl_2 และก๊าซฮาโล-หรือฟลูออโร-หรือก๊าซคาร์บอนและอื่นๆ เป็นต้น สารละลายการกัดดังกล่าวเหล่านี้มีทั้งที่มีคุณสมบัติไอโซทรอปิกหรือแอนไอโซทรอปิก อัตราการกัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหรืออุณหภูมิของสารละลาย สารละลายการกัดเหล่านี้จะกัดวัสดุต่างๆ กันได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นการเลือกสารละลายที่ใช้กัดให้เหมาะสมจึงมีความจำเป็นด้วย[10]

สำหรับปรากฏการณ์การกัดแบบแอนไอโซทรอปิกในสารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TMAH)[13] นั้นมีกลไกกระบวนการกัด ดังนี้



2.4.2 โครงสร้างอะตอมของซิลิคอน

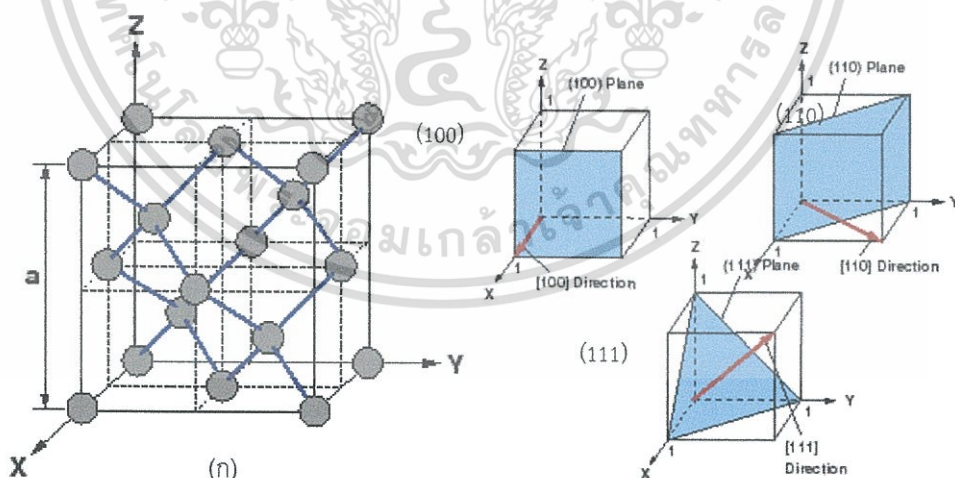
ในระนาบต่างๆ ของซิลิคอน จะมีจำนวนพันธะที่ถูกกัดออกไปก่อนหน้า (เหลือเป็นแขนยื่น) จำนวนพันธะที่กำลังถูกกัด และจำนวนพันธะที่ถูกดึงออกสู่สารละลายเป็นขั้นตอนต่อไปไม่เท่ากันกล่าวคือ

- (1) ระนาบ (100) อะตอมที่ถูกกัดจะมีสองอะตอมที่อยู่ใต้ผิวหน้าระนาบและมีสองอะตอมที่ถูกกัดไปก่อนหน้า ดังนั้นการที่ถูกดึงอะตอมจากผิวหน้าต้องมีการทำลายพันธะถึงสองพันธะ

- (2) ระนาบ (111) จะมีสามอะตอมที่อยู่ใต้ผิวหน้า และมีหนึ่งอะตอมถูกตัดออกไป ก่อนหน้านี้จึงเป็นระนาบที่แข็งแรงที่สุด
- (3) ระนาบ (110) จะมีสามอะตอมอยู่ที่ผิวหน้า หนึ่งอะตอมอยู่ที่ผิวหน้าและหนึ่งอะตอมที่ถูกกัดไปก่อนหน้า แม้ว่าจะมีสองอะตอมที่มีพันธะร่วมกับ อะตอมตรงกลางที่อยู่บนผิวหน้า แต่ก็ล้วนเป็นอะตอมที่อยู่ผิวหน้าด้วยกันจึงจะถูกกัดออกไปพร้อมกัน[14]

สารละลายซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของ สารละลาย เตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และ น้ำปilotประจุ มีชื่อย่อว่า (TMAH) เป็นสารละลายที่มีคุณสมบัติการกัดเปียกแบบแอนไอโซทรอปิก อัตราการกัดของ TMAH ในผลึกซิลิคอน ในระนาบต่างๆ เรียงเป็นลำดับดังนี้ $(100) > (110) > (111)$ [10]

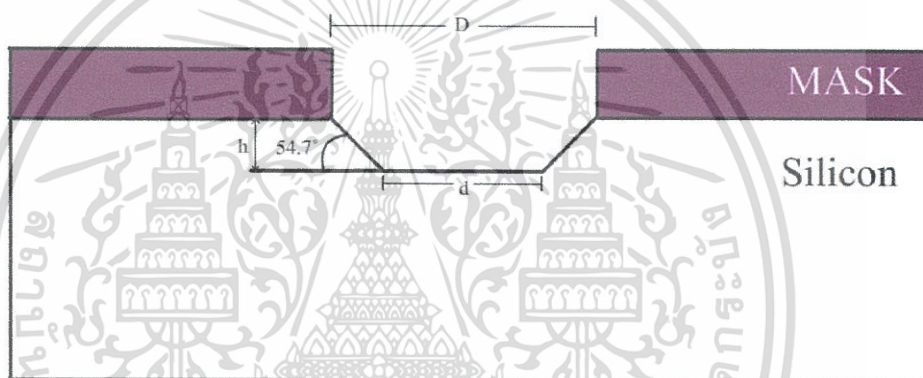
เนื่องจากสารละลาย TMAH เป็นสารละลายที่ทำการกัดแบบแอนไอโซทรอปิก โครงสร้างของสารละลาย TMAH ต้องเพิ่มอุณหภูมิช่วยในการกัดระนาบของซิลิคอน เพื่อให้สารละลาย TMAH ทำการกัด ควรรู้ว่าโครงสร้างผลึกของซิลิคอน คือโครงสร้างอะตอมประกอบเท่ากับ 5.43 \AA เป็นโครงสร้างแบบ Face Centered Cubic (FCC) หรือเรียกว่า โครงผลึกแบบ Diamond แต่มีอะตอมสองอะตอมในหน่วยเซลล์ ในรูปที่ 2.6 โครงสร้างอะตอมของซิลิคอนและ ระนาบต่างๆของผลึกซิลิคอน [14]



รูปที่ 2.6 ซิลิคอนมีลักษณะโครงสร้างเป็น FCC (face-centered cubic) พันธะในอะตอมซิลิคอนระนาบ (100) พันธะในอะตอมซิลิคอนระนาบ (111) พันธะในอะตอมซิลิคอนระนาบ (110)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่องรูปตัวยูที่เกิดจากการกัดเมื่อเปิดช่องเลือกกัดบนระนาบผลึกที่ไม่เหมือนกัน จะมีความแตกต่างกัน แต่ผนังที่เกิดขึ้นก็คือระนาบที่มีอัตราการกัดช้าที่สุด สำหรับแผ่นผลึกซิลิคอนระนาบ (100) ถ้าเปิดช่องเลือกกัดเป็นวงกลม ร่องรูปตัวยูที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยผนังสองด้านเอียงทำมุม 54.74 องศาขนานกับพื้นระนาบ (100) แนวขอบผนังขนานกับทิศทาง (110) ระนาบนั้นคือระนาบ (111) และยังมีระนาบ (100) ร่วมกันประกอบเป็นผนัง แต่ถ้าเปิดบริเวณเลือกกัดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีด้านตั้งขนานกับทิศทาง (110) จะได้ผนังสี่ด้านเป็นระนาบ (111) ทั้งหมด พื้นที่หลุมจะเป็นระนาบ (100) โดยความสัมพันธ์ของเลขาคณิตที่แน่นอนของระนาบ (100) และระนาบ (111)[14] ดังรูปที่ 2.7 การกัดของระนาบ (100)



รูปที่ 2.7 ลักษณะของการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกโดยมีขนาดของมุม 54.7°

$$D = d + \frac{2h}{\tan(54.74^\circ)} \cong d + \sqrt{2}h \quad (2.8)$$

$$h = Rt \quad (2.9)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของความกว้างของปากหลุม

d คือ ขนาดของความกว้างในหลุม

h คือ ขนาดความลึกของหลุม

R คือ อัตราการกัดในแนวตั้งของซิลิคอน

t คือ เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องมือวัด

2.5.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

เป็นวิธีดูลักษณะและรูปร่างของอนุภาค โดยใช้สายตาวัดขนาดของอนุภาค โดยตรง เทคนิคนี้สามารถวัดขนาดอนุภาคตั้งแต่ช่วง 0.5-100 ไมครอน และสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) เพื่อช่วยวิเคราะห์หาขนาด และการกระจายตัวของอนุภาค[3]



รูปที่ 2.8 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

2.5.2 เครื่องมือวัดค่าความลึก Profilometer

เครื่องมือวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) โดยใช้ปลายวัด (Stylus) ลากไปบนพื้นผิวที่ต้องการวัดในระยะทางที่กำหนด จากนั้นเครื่องจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นค่าคุณสมบัติของผิว (Surface Parameter) ซึ่งแต่ละค่าล้วนได้มาจากการคำนวณทั้งหมด และเครื่องจะแปลผลออกมาในรูปกราฟ ซึ่งเรียกว่า เส้นรูปทรง (Profile) หมายถึง เส้นที่เกิดการตัดกันของระนาบตัด (Sectioning Plane) หรือระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นผิวตัดกับระนาบของพื้นผิว[3]



รูปที่ 2.9 เครื่อง Profilometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ศึกษา ลักษณะและองค์ประกอบของวัสดุชิ้นงานในระดับจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยาย มากกว่า 3000 เท่าถึงระดับ 100,000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 – 100 นาโนเมตร นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยังใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็น ข้อมูลทางเคมี[3]



รูปที่ 2.10 Scanning Electron Microscope

การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะใช้อิเล็กตรอนแทนแสงโดยต้นกำเนิดอิเล็กตรอน ที่เรียกว่า ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงให้ขดลวดทั้งสแตนด์ ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา แล้วจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามลำกล้อง ซึ่งภายในลำกล้องต้องเป็นสภาพสุญญากาศเพื่อที่จะให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยไม่สูญเสียพลังงาน ทิศทางการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนจะถูกควบคุมโดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) อย่างน้อย 2 ชุดและปริมาณอิเล็กตรอนถูกควบคุมโดยแอปเจอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิดที่มีขนาดต่างๆ กันตามลักษณะการใช้งาน เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกๆ ที่เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (Electron optics) เพราะเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากระเบียงกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุเป็นเลนส์ชุดสุดท้ายจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้ไปตกกระทบบนผิวตัวอย่างโดยมีสแกนคอยล์ (Scan coil) ทำหน้าที่กราดอิเล็กตรอนให้ไปบนผิวตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณต่างๆ[3] ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกันและ SEM จะมีอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและส่งไปประมวลเป็นภาพแสดงบนจอต่อไป

2.6 ตัวตรวจวัดแสง

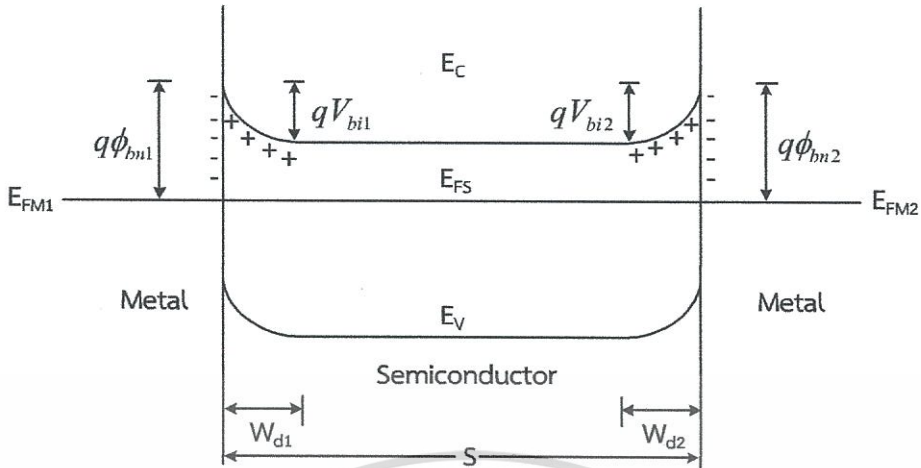
ตัวตรวจวัดแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับแสง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในด้านภาพและแสงอย่างกว้างขวาง มักเป็นส่วนประกอบอยู่ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในชีวิตประจำวันต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ กล้องถ่ายรูป โทรทัศน์ เครื่องฉาย (Projector) รวมไปถึงระบบสัมผัสต่างๆ นอกจากนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นตัวตรวจจับความร้อน (Thermal detector) โดยอาศัยการเปลี่ยนแสงที่มีความยาวคลื่นอินฟราเรดให้กลายเป็นภาพความร้อน (Thermal picture) หรือภาพที่แสดงอุณหภูมิของวัสดุต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างตัวตรวจวัดแสง ซึ่งประกอบไปด้วยสองรอยสัมผัสขั้วต่อที่ดี ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือ มีเสถียรภาพที่ดี กระแสมืดต่ำ มีสภาพการตอบสนองทางแสงที่ดี มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการบูรณาการ และที่สำคัญสามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถนำไปใช้ทางด้านงานภาพและแสงได้อย่างกว้างขวาง จึงทำให้ได้รับความสนใจในปัจจุบัน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้าง หลักการทำงาน และความสัมพันธ์ทางแสงที่เกี่ยวกับตัวตรวจวัดแสง

2.6.1 ตัวตรวจวัดแสงในสภาวะสมดุล

แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง ในสภาวะสมดุลความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.11 จะเกิดบริเวณปลอดพาหะ และกำแพงศักย์ขึ้นที่รอยสัมผัสทั้งสอง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของรอยสัมผัสขั้วต่อที่ดีที่ตั้งที่ใดก็ตามแล้ว โดยรอยสัมผัสด้านซ้ายกำหนดให้เป็นขั้วแคโทด (cathode) และรอยสัมผัสด้านขวากำหนดให้เป็นขั้วแอโนด (anode) โดยทั่วไปโลหะที่ใช้ทำขั้วแคโทด และขั้วแอโนดจะเป็นโลหะชนิดเดียวกัน เพื่อลดจำนวนต้นแบบและกระบวนการสร้างลง จึงทำให้กำแพงศักย์ขั้วต่อที่ดีของขั้วแคโทด (ϕ_{bn1}) และขั้วแอโนด (ϕ_{bn2}) มีขนาดเท่ากันหรือ $\phi_{bn1} = \phi_{bn2} = \phi_{bn}$ กำแพงศักย์ภายในของขั้วแคโทด (V_{bi1}) และขั้วแอโนด (V_{bi2}) มีขนาดเท่ากัน หรือ $V_{bi1} = V_{bi2} = V_{bi}$ และความกว้างบริเวณปลอดพาหะด้านแคโทด (W_{d1}) และด้านแอโนด (W_{d2}) มีขนาดเท่ากัน หรือ $W_{d1} = W_{d2} = W_d$ ทำให้โครงสร้างนี้มีลักษณะสมมาตร

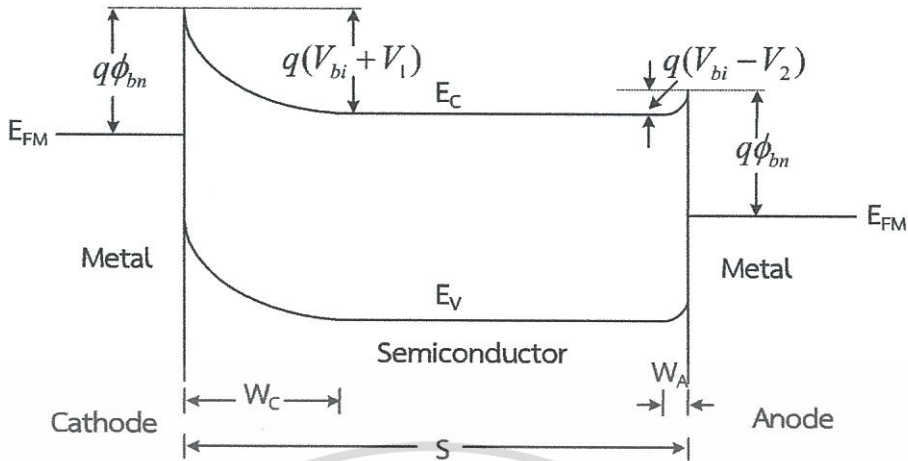
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสงในสภาวะสมดุลความร้อน

2.6.2 ตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแรงดันไบอัส

ตัวตรวจวัดแสงเมื่อได้รับการไบอัสดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยรอยสัมผัสด้านซ้ายมือเป็นขั้วแคโทดเกิดเป็นลักษณะของการไบอัสย้อนกลับ รอยสัมผัสด้านขวามือเป็นขั้วแอโนดเกิดเป็นลักษณะของการไบอัสตรง บริเวณหลอดพาหะด้านแคโทด (W_C) มีการขยายตัวกว้างมากขึ้นเนื่องจากการไบอัสย้อนกลับ และมีกำแพงศักย์ภายในสูงขึ้นเป็น $V_{bi} + V_1$ อิเล็กตรอนจากทางด้านสารกึ่งตัวนำไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสไปยังด้านโลหะได้ จะมีเพียงอิเล็กตรอนส่วนน้อยที่มีพลังงานมากพอจากด้านโลหะเคลื่อนที่ข้ามกำแพงศักย์ขี้อัดตักไปยังด้านสารกึ่งตัวนำได้ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังด้านโลหะ (I_{SM}) ซึ่งมีค่าเท่ากับกระแสรั่วไหลของรอยสัมผัสขี้อัดตัก ส่วนด้านแอโนดที่ได้รับการไบอัสตรง บริเวณหลอดพาหะด้านแคโทด (W_C) แคบมากขึ้นเนื่องจากการไบอัสตรงค่าของกำแพงศักย์ภายในลดลงเท่ากับ $V_{bi} - V_2$ ดังนั้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยสัมผัสเข้าไปทางด้านโลหะได้ และทำให้มีกระแสไฟฟ้า (I_{MS}) ไหลจากด้านโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ แต่เนื่องจากมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากทางด้านแคโทดเข้ามาที่สารกึ่งตัวนำมีปริมาณน้อยอยู่แล้วจึงทำให้กระแสนี้มีค่าน้อยตามไปด้วยซึ่งก็คือ กระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (dark current : I_{dark}) ของโครงสร้างสองรอยสัมผัสขี้อัดตัก โดยกระแสมืดของโครงสร้างสองรอยสัมผัสขี้อัดตัก จะเป็นกระแสที่เกิดจากอิเล็กตรอนเท่านั้น เนื่องจากกระแสโฮลที่ถูกฉีดจากรอยสัมผัสด้านแอโนดมีค่าน้อยกว่ากระแสอิเล็กตรอนมาก[3]

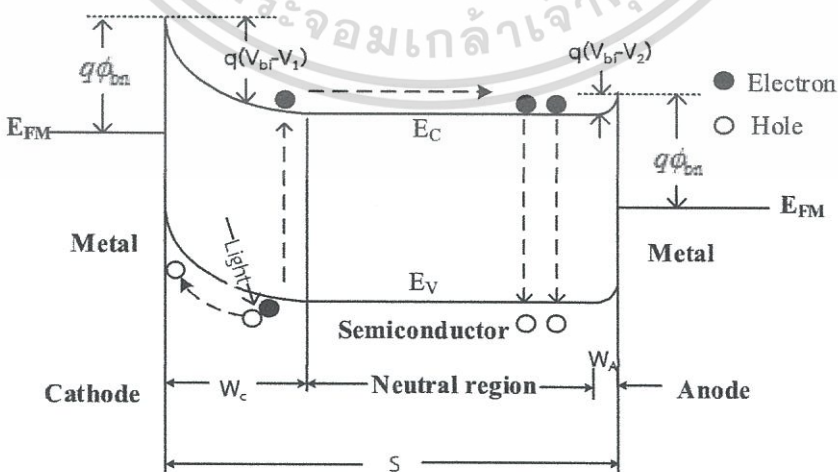


รูปที่ 2.12 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างสองรอยสัมผัสชนิดพีเอ็น เมื่อได้รับแรงดันไบอัส

ซึ่งความกว้างบริเวณปลอดพาหะของโครงสร้างสองรอยสัมผัสชนิดพีเอ็น กรณีที่ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามีขนาดกว้าง จะพิจารณาให้ความสำคัญเฉพาะส่วนบริเวณ ปลอดพาหะที่เกิดทางด้านแคโทดเพียงด้านเดียว เนื่องจากกลไกการเกิดกระแสแสงจะ เกิดขึ้นที่บริเวณปลอดพาหะด้านแคโทดเป็นหลัก ซึ่งจะอธิบายกลไกการเกิดกระแสแสง ในหัวข้อถัดไป

2.6.3 ตัวตรวจวัดแสงเมื่อมีความเข้มแสงตกกระทบ

เมื่อตัวตรวจวัดแสง ได้รับแสงตกกระทบ พื้นที่รับแสงของตัวตรวจวัดแสงจะอยู่ ตรงพื้นที่ของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้าน (S) แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง ภายใต้การให้แรงดันไบอัสแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แถบพลังงานของตัวตรวจวัดแสง เมื่อได้รับไบอัสและมีแสงตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นที่รับแสง ซึ่งรวมทั้งส่วนที่เป็นบริเวณปลอดพาหะ และบริเวณนิวทรัล โดยที่พลังงานโฟตอนต้องมากกว่าหรือเท่ากับขนาดช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ $(hv \geq E_g)$ จะเกิดการกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น คู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดบริเวณปลอดพาหะจะถูกสนามไฟฟ้าที่มีอยู่ในบริเวณปลอดพาหะ เร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ โดยโฮลจะเคลื่อนที่ตามทิศของสนามไฟฟ้าเข้าหาขั้วแคโทดเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า หรือที่เรียกว่ากระแสแสง (photocurrent : I_{photo}) ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่สวนทิศกับสนามไฟฟ้าไปยังขั้วแอโนด ซึ่งจะต้องเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่บริเวณนิวทรัล ในบริเวณนิวทรัล โฟตอนจะถูกดูดกลืนพลังงานและกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล เช่นเดียวกับในบริเวณปลอดพาหะ แต่เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โฮลที่อยู่ ในสารกึ่งตัวนำจึงเป็นพาหะส่วนน้อย เมื่อแสงตกกระทบบและมีการกระตุ้นให้เกิดโฮลทำให้ความหนาแน่นของโฮลหรือ ประจุส่วนน้อยมีเพิ่มมากขึ้น เมื่อความหนาแน่นของประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละจุดจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่เกิดขึ้น โดยจะแพร่ไปยังส่วนที่ความหนาแน่นของโฮลต่ำ บางส่วนจะเคลื่อนที่ไปยังขอบของบริเวณปลอดพาหะและถูกสนามไฟฟ้าเร่งเข้าหาขั้วแคโทด แต่โฮลส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ด้วยการแพร่อยู่ในชั้นสารกึ่งตัวนำและเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนในที่สุด ส่วนในบริเวณนิวทรัลเนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นของโฟตอนในบริเวณนิวทรัลและอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ออกมาจากบริเวณปลอดพาหะเป็นประจุพาหะส่วนมากในชั้นสารกึ่งตัวนำจึงไม่เกิดการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่ได้ อิเล็กตรอนบางส่วนจึงเกิดการรวมตัวกับโฮลในที่สุด ดังนั้นกระแสแสงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสองรอยสัมผัสชนิดพีเอ็นพี ที่ระยะห่างระหว่างรอยสัมผัสมีขนาดกว้างจึงเป็นกระแสที่เกิดจากโฮล[3]โดยที่ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะรวม (W_T) ของตัวตรวจวัดแสงจะเป็นผลรวมของบริเวณปลอดพาหะทางด้านแคโทด (W_C) ที่ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ และบริเวณปลอดพาหะทางด้านแอโนด (W_A) ที่ได้รับแรงดันไบอัสตรง ดังสมการที่ 2.10

$$W_T = W_C + W_A \quad (2.10)$$

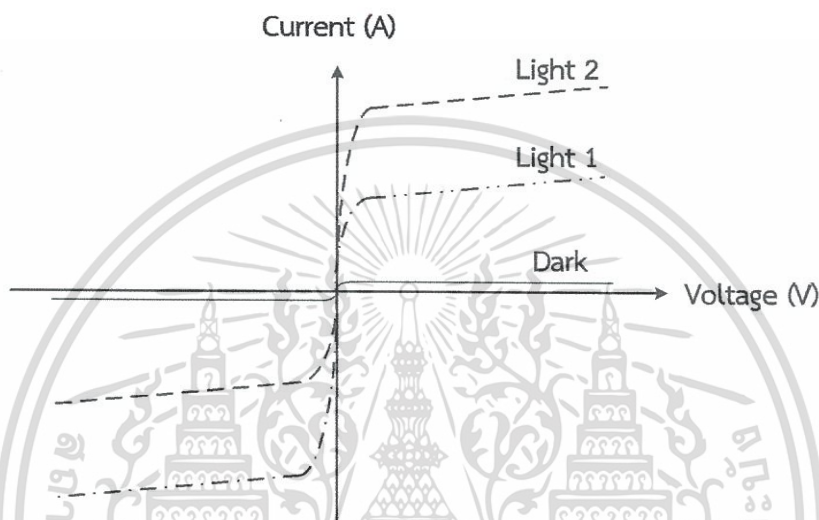
โดยที่

$$W_C = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_{bi} - V_A)}{qN_D}} \quad (2.11)$$

$$W_A = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_{bi} + V_A)}{qN_D}} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสมบัติสำคัญของตัวตรวจวัดแสงที่มักถูกพิจารณาคือ ลักษณะสมบัติ กระแส-แรงดัน โดยในรูปที่ 2.14 เป็นลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันของตัวตรวจวัด แสงโครงสร้างสองรอยสัมผัสชนิดพีเอ็น เมื่อได้รับความเข้มแสงตกกระทบบมีความสมมาตร กันทั้งด้านที่รับไบอัสตรงและไบอัสกลับ ซึ่งกระแสจะมีค่ามากขึ้นเมื่อได้รับค่าความ เข้มแสงที่สูงขึ้นด้วย[3]



รูปที่ 2.14 ลักษณะสมบัติกระแส - แรงดันของ MSM เมื่อได้รับแสงตกกระทบบ

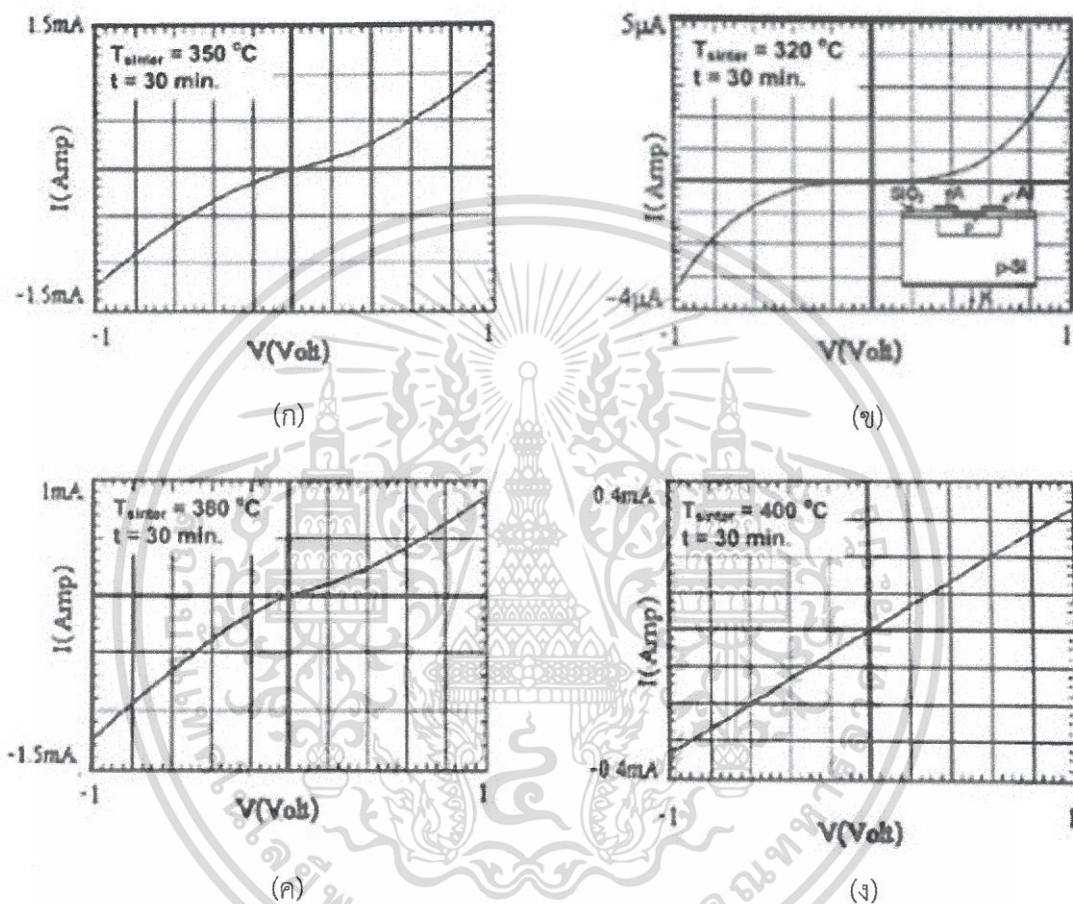
2.7 กระบวนการซินเตอร์ริง

กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering process) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่โลหะที่มี จุดหลอมเหลวไม่สูงมากนัก ดังเช่น อะลูมิเนียม (Al) ซึ่งเป็นโลหะที่มีค่าความต้านทานต่ำ และมี ราคาถูก จึงนิยมนำไปใช้ในการสร้างลวดลายโลหะในสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น[4]

กระบวนการซินเตอร์ริงจะกระทำหลังจากสร้างลวดลายโลหะเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ รอยสัมผัสระหว่างโลหะ (อลูมิเนียม) กับซิลิคอนมีสมบัติที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะ สมบัติทางไฟฟ้า เช่น ในกรณีรอยสัมผัสแบบโอห์มิก จะนำกระแสไฟฟ้าสูง เพราะว่ากระบวนการ ซินเตอร์ริงจะช่วยทำให้ความต้านทานที่รอยสัมผัสมีค่าลดต่ำลง และลักษณะสมบัติกระแสและ แรงดันที่ได้มีความเป็นเชิงเส้น แสดงดังในรูปที่ 5.17 อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในกระบวนการซิน เตอร์ริงจะต้องมีความเหมาะสมในกรณีของรอยสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมกับซิลิคอน จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิประมาณ 400-500 °C ส่วนเวลาจะใช้ในช่วง 15-30 นาที การใช้อุณหภูมิที่สูง และเวลานานเกินไปอาจจะส่งผลเสียกับรอยสัมผัสได้ ทำให้เกิดการสไปค์ขึ้นตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.9 (บทที่ 1) ทำให้เกิดการเชื่อมต่องันในรอยต่อ p-n ทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกิดความเสียหาย และไม่สามารถทำงานได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของรอยสัมผัส Al-Si/p⁺/p-Si ที่อุณหภูมิซินเตอร์ค่าต่างๆ โดย (ก) 320 °C (ข) 350 °C (ค) 380 °C และ (ง) 400 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การขึ้นเตอรืงที่อุณหภูมิค่าต่างๆ ของรอยสัมผัสอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ กับซิลิคอน

| อุณหภูมิ (°C) | Al (99.99%) |
|---------------|---|
| 400 | รอยต่อ p ⁺ /n ไม่เกิดความเสียหาย |
| 500 | รอยต่อ p ⁺ /n เกิดความเสียหาย |
| 600 | รอยต่อ p ⁺ /n เกิดความเสียหาย |

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการขึ้นเตอรืงที่ 400 °C กับ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (99.99%) รอยสัมผัสของอะลูมิเนียมกับซิลิคอนยังคงเป็นรอยสัมผัสแบบโฮล์ มิคอยู่และถือได้ว่าเป็นอุณหภูมิแพร่ซึมบางๆ ลงไปที่ผิวแผ่นผลึกซิลิคอน และเมื่อใช้อุณหภูมิชิ นเตอรืงเพิ่มขึ้นเป็น 500 และ 600 °C จะทำให้เกิดความเสียหายกับรอยต่อ p⁺/n ซึ่งสังเกตได้ จากลักษณะสมบัติกระแสและแรงดันที่เกิดการลัดวงจร ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อ p-n ได้เป็นจำนวนมาก[4]

บทที่ 3

กระบวนการสร้างและการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและกระบวนการกัดซิลิคอนแบบร่องรูปตัวยู (UMSM) โดยผ่านกระบวนการกัดแบบเปียกด้วยสารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TMAH) ที่เติมกรดซิลิสิก (Silicic acid) โดยมีขั้นตอนการสร้างการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบลวดลาย

ในโครงการนี้จะทำการออกแบบลวดลายของกระจกต้นแบบเป็นชนิดที่ใช้กับน้ำยาไวแสง ชนิดบวก (positive) โดยใช้โปรแกรม Corel DRAW X5 Graphic จากนั้นนำไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการออกแบบฟิล์มด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ด้วยความละเอียดสูง[8] แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ ไปติดบนกระจกใสเพื่อสร้างเป็นกระจกต้นแบบสำหรับใช้ในกระบวนการสร้างต่อไป ได้ลวดลายต้นแบบดังตัวอย่างในรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ลวดลายกระจกต้นแบบของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง $Al/n-Si/Al$

3.2 เงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการกัดแผ่นซิลิคอน

ในการสร้างตัวตรวจวัดแสงนี้เราได้กำหนดเงื่อนไขในการกัดแผ่นซิลิคอนที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง $Al/n-Si/Al$ แบบร่องรูปตัวยู โดยกัดซิลิคอนให้เป็นร่องลึกด้วยกระบวนการกัดแบบเปียกในสารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TMAH) และเติมกรดซิลิสิก (silicic acid)[16] ซึ่งสารละลายเตตระเมทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์นี้มีคุณสมบัติในการกัดแบบแอนไอโซทรอปิกคือเป็นการกัดระนาบใดระนาบหนึ่งมากกว่าอีกระนาบหนึ่ง และกรดซิลิสิกมีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดการกัดต่อลุ่มิเนียมที่น้อยลง ซึ่งจะใช้สารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% และใช้ silicic acid ตั้งแต่ 30 – 40 g/l โดยกำหนดใช้อุณหภูมิในการกัดอยู่ที่ 80 องศาเซลเซียสและใช้แท่งกวนสารละลายหมุนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที จะได้ตัวตรวจวัดแสงแบบร่องรูปถ้วยที่มีเงื่อนไขสำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.3 กระบวนการสร้าง

ในขั้นตอนของกระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสง ประกอบด้วยกระบวนการสร้าง 5 กระบวนการ คือ กระบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอน, กระบวนการสร้างชั้น Al, กระบวนการ PECVD เพื่อสร้างชั้นซิลิคอนไดออกไซด์, กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเพื่อสร้างลวดลายตัวตรวจวัดแสง และกระบวนการกัดแผ่นซิลิคอนแบบแอนไอโซทรอปิก โดยแต่ละขั้นตอนที่ได้ทำการทดลองนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 กระบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอน[12]

กระบวนการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนเป็นการทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นละออง เศษโลหะ และคราบน้ำมันที่อยู่บนพื้นผิวแผ่นซิลิคอนซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะหากชิ้นงานไม่สะอาดอาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของชิ้นงานลดลงได้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- อัลตราโซนิก (ultrasonic) แผ่นผลึกซิลิคอนในน้ำบริสุทธิ์ปราศจากไอออน (deionization water: DI water) เพื่อกำจัดฝุ่นละออง
- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในกรดปีรันยา ($3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$: piranha) เพื่อขจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกจำพวกโลหะ
- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- จุ่มในกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid: HF) ที่มีความเข้มข้น 5% เพื่อกัดชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (native oxide) บนผิวหน้าของแผ่นซิลิคอน จากออกซิเจนในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3.3.2 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor)

การปลูกฟิล์มบางด้วยไอสารเคมีแบบพลาสมาใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 400°C เป็นวิธีการปลูกชั้นฟิล์มบางที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสถานะก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนเวเฟอร์ การปลูกฟิล์มวิธีนี้ใช้หลักการพลาสมาช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของก๊าซจึงทำให้สามารถปลูกชั้นฟิล์มได้ที่อุณหภูมิต่ำและไม่ส่งผลต่อชั้นอลูมิเนียม[3]

- สร้างชั้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์ด้วยกระบวนการ PECVD

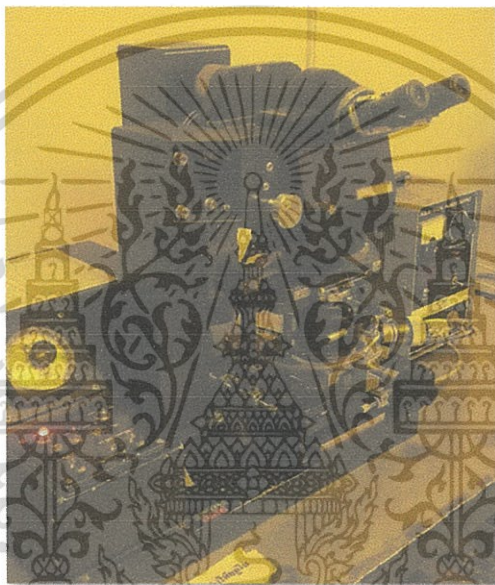
3.3.3 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟีเป็นกระบวนการสร้างลวดลายของชิ้นงานด้วยกระจกต้นแบบที่เรียกว่า โฟโตมาสก์ (Photomask) ซึ่งมีลักษณะเป็นลวดลายบนฟิล์มกระจกที่ได้มาจากการออกแบบในตอนแรก โดยมีขั้นตอนดังนี้[3]

- อบแผ่นเพื่อไล่ความชื้นออก ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 45-60 นาที
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ P1350 ด้วยเครื่องสปินเนอร์
- อบแผ่นครั้งแรก (pre bake) ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงแห้ง
- ฉายแสงผ่านกระจกต้นแบบ ด้วยเครื่องปรับช้อนมาร์ก (mask aligner) ใช้เวลาในการฉายแสง 15 วินาที
- ขึ้นลวดลายน้ำยาไวแสงโดยจุ่มลงในน้ำยาขึ้นลวดลาย (AZ developer) 2 แก้ว แก้วละ 15 วินาที
- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- อบครั้งที่สอง (post bake) ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น้ำยาไวแสงที่เหลืออยู่แห้ง
- กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่ไม่ต้องการออกเพื่อสร้างลวดลายโดยใช้สารละลาย BOE
- จุ่มในน้ำ DI
- จุ่มในน้ำ DI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

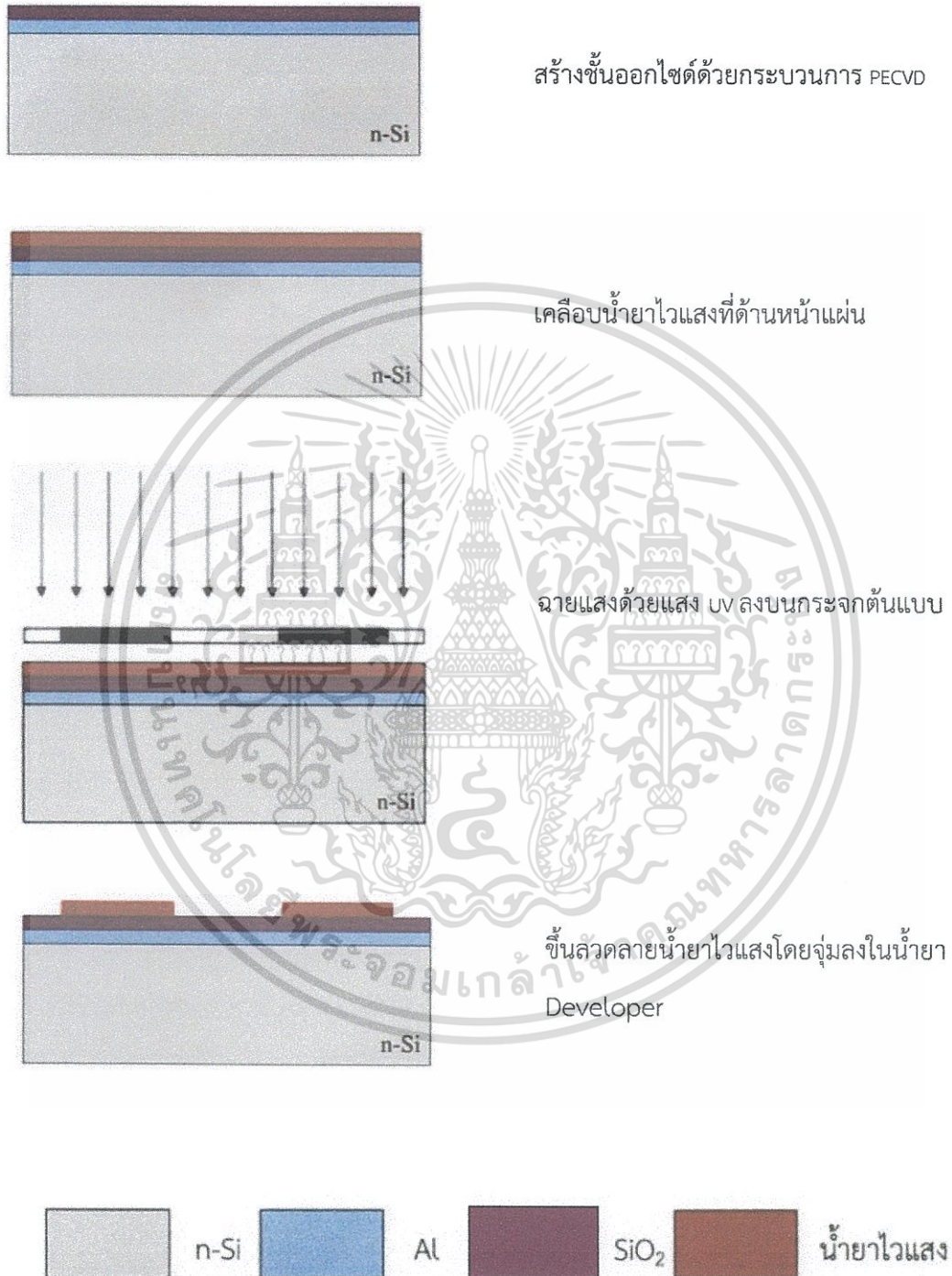
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- จุ่มในอะซิโตน เพื่อล่อน้ำยาไวแสงที่เหลือออก
- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- กัดชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ที่เหลือออกโดยใช้สารละลาย BOE
- จุ่มในน้ำ DI
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 3.2 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

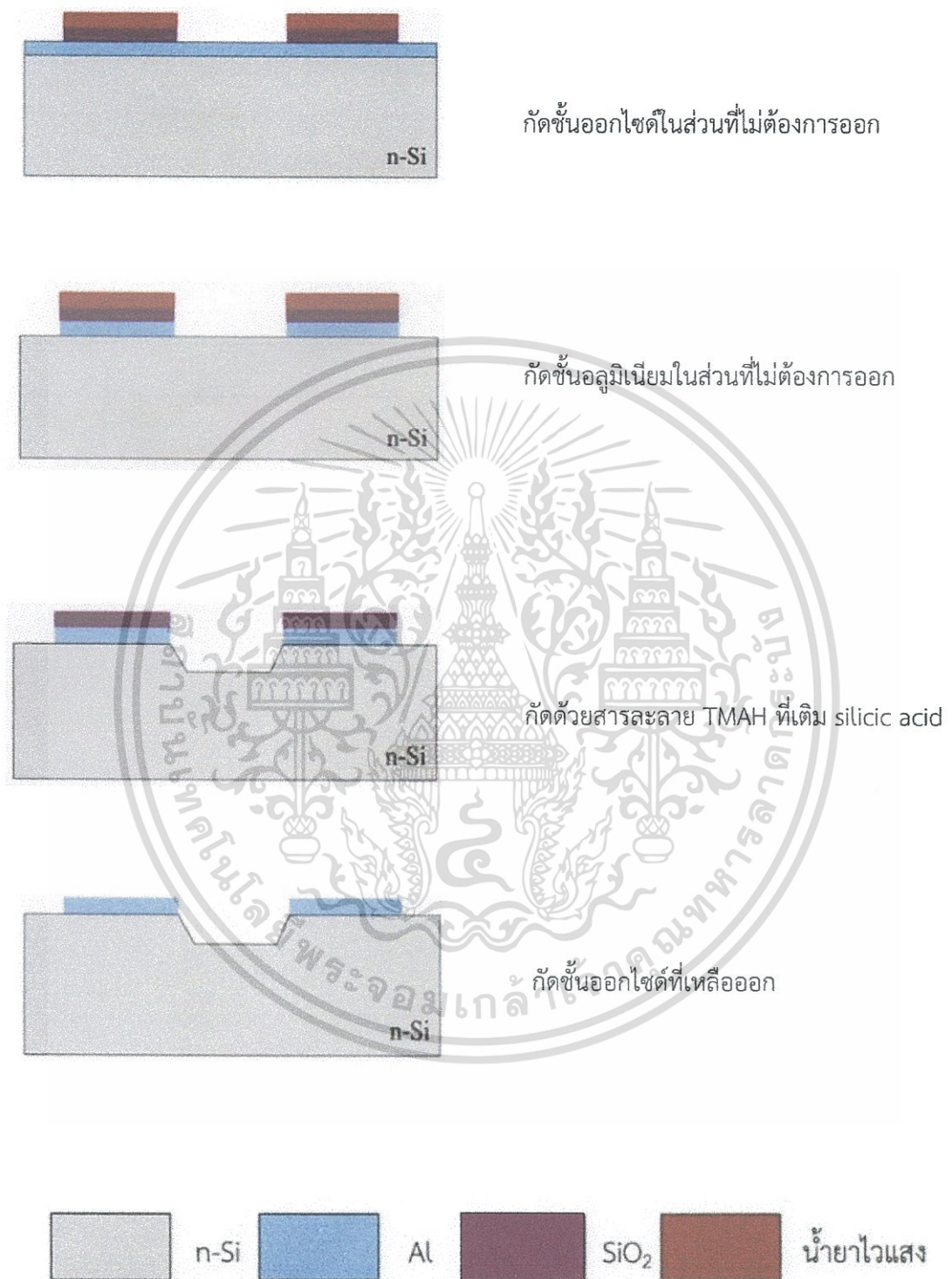
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกระบวนการสร้างต่างๆ สามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.3 กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง UMSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ต่อ)กระบวนการสร้างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง UMSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 กระบวนการกัดแผ่นซิลิคอน

กระบวนการกัดแผ่นซิลิคอนในโครงการวิจัยนี้จะใช้สารละลาย TMAH โดยที่มีความเข้มข้นที่ 5 wt% เติม silicic acid ที่ 34 g/l โดยกำหนดให้ใช้อุณหภูมิที่ 80 °C และรอบการกวนสารเท่ากับ 200 rpm โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เติมกรด silicic ในสารละลาย TMAH แล้วต้มสารไว้ประมาณ 25 ชั่วโมง เพื่อให้สารรวมเป็นเนื้อเดียวกัน
- ต้มสารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic เรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 80 °C และรอบที่ใช้ในการกวนสารเท่า 200 rpm [17]
- นำแผ่นซิลิคอนที่ได้หลังจากกระบวนการโฟโตลิโทกราฟีทำการกัดซิลิคอน
- จุ่มใน DI
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

สารละลาย TMAH ที่เติม Silicic acid

แผ่นซิลิคอน



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการกัดแผ่นซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 กระบวนการขึ้นเตอริง

กระบวนการขึ้นเตอริงจะกระทำหลังจากสร้างลวดลายโลหะเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้รอยสัมผัสระหว่างโลหะ (อลูมิเนียม) กับซิลิคอนมีสมบัติที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า[4]

- นำตัวตรวจวัดแสงเข้าเครื่องขึ้นเตอริงที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที



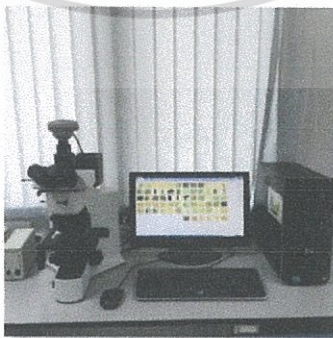
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการขึ้นเตอริง

3.4 การทดลอง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทดสอบหลักลักษณะพื้นผิว อัตราการกัดและค่ากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสง

3.4.1 เครื่องมือวัดพื้นผิวซิลิคอน Microscope

ทำการตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวที่ผ่านการกัดแต่ละเงื่อนไขที่ได้ทำการทดลองไปในข้างต้น โดยส่องด้วยกล้องไมโครสโคปที่กำลังขยายต่างๆ

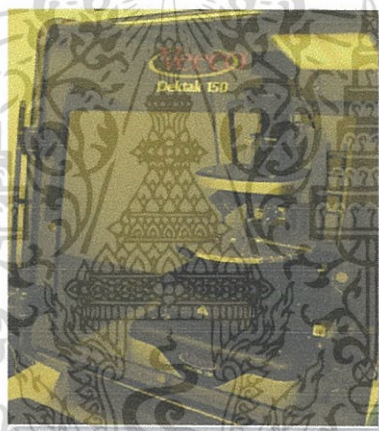


รูปที่ 3.6 กล้องไมโครสโคป รุ่น OLYMPUS BX51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เครื่องมือวัดค่าความลึก Profilometer

จากนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดแล้ว นำไปวัดความลึกด้วยเครื่อง Profilometer ของบริษัท Veeco รุ่น Dektak 150 แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยเครื่องมือวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) โดยใช้ปลายวัด (Stylus) ลากไปบนพื้นผิวที่ต้องการวัดในระยะทางที่กำหนด จากนั้นเครื่องจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นค่าคุณสมบัติของผิว (Surface Parameter) ซึ่งแต่ละค่าล้วนได้มาจากการคำนวณทั้งหมด และเครื่องจะแปลผลออกมาในรูปกราฟ ซึ่งเรียกว่า เส้นรูปทรง (Profile) หมายถึง เส้นที่เกิดการตัดกันของระนาบตัด (Sectioning Plane) หรือระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นผิวตัดกับระนาบของพื้นผิว



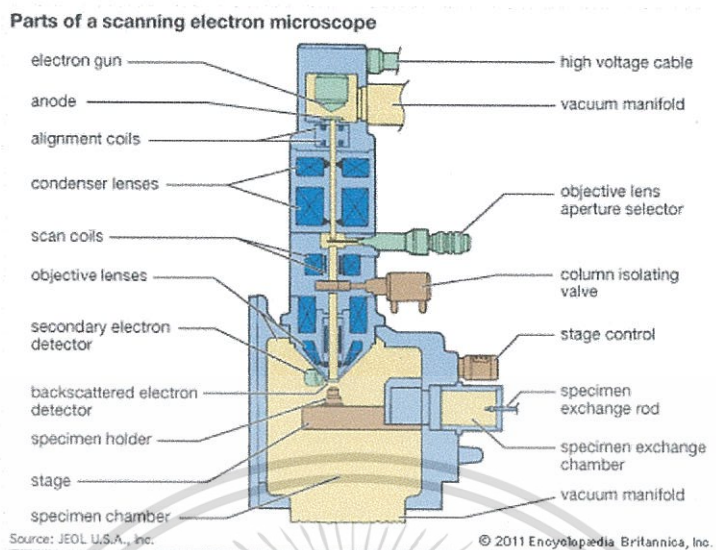
รูปที่ 3.7 เครื่อง Profilometer บริษัท Veeco รุ่น Dektak 150

3.4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope)

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง ใช้ศึกษาลักษณะและองค์ประกอบของวัสดุชิ้นงานในระดับจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่าถึงระดับ 100,000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 – 100 นาโนเมตร และไปประมวลเป็นภาพแสดงบนจอต่อไป[3]

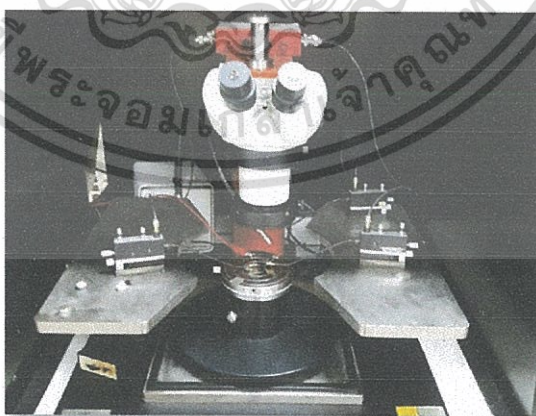
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Scanning Electron Microscope

3.4.4 การวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้า

ตัวตรวจวัดแสงและข้อต่อทึบไดโอดที่สร้างขึ้นนั้นมีลักษณะโครงสร้างเป็น $Al/n-Si/Al$ เมื่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการวัดค่ากระแส-แรงดัน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 3.9 ในการวัดค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงจะถูกบ่อนแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ -10 ถึง 10 V เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 V



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์คุณลักษณะของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวัดการตอบสนองทางแสง

การวัดการตอบสนองทางแสงนั้น ทำการวัดโดยใช้ หลอดฮาโลเจน ที่สามารถปรับสว่างของแสงที่ตกกระทบชิ้นงานได้ตั้งแต่ช่วง 5000 lux ถึง 25000 lux โดยการวัดการตอบสนองทางแสง โดยทำการจ่ายแรงดันไบอัสให้เกิดตัวตรวจวัดแสง -10 ถึง 10 V เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 ทำการวัดกระแสที่ได้จากการไบอัสในช่วงต่าง ด้วยเครื่อง KEITHLEY 2400 นอกจากนี้ยังทำการวัดขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบโดยใช้หลักการจ่ายแรงดันแบบเดียวกับขณะได้รับแสงตกกระทบ เพื่อหากระแสรั่วไหลที่เกิดขึ้นในตัวตรวจวัดแสงใช้เครื่องมือเดียวกันกับรูปที่ 3.9



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองโดยจะแบ่งผลการทดลองออกเป็นสี่ส่วนในส่วนแรกจะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพของอลูมิเนียม (Al), ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) และพื้นผิวซิลิคอน (Si) เมื่อกัดด้วย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% ที่เติมกรด silicic ในเงื่อนไขต่างๆ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงลักษณะพื้นผิวหลังการกัดของซิลิคอนที่มีเงื่อนไขของสารละลายที่ดีที่สุดจากส่วนแรก และในส่วนที่สามจะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบอัตราการกัด Si และ Al ของชิ้นงานเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน ในส่วนที่สี่จะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบพื้นผิวซิลิคอนหลังการกัด ส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสง และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงค่ากระแสรั่วหลังกระบวนการขึ้นเตาจริง

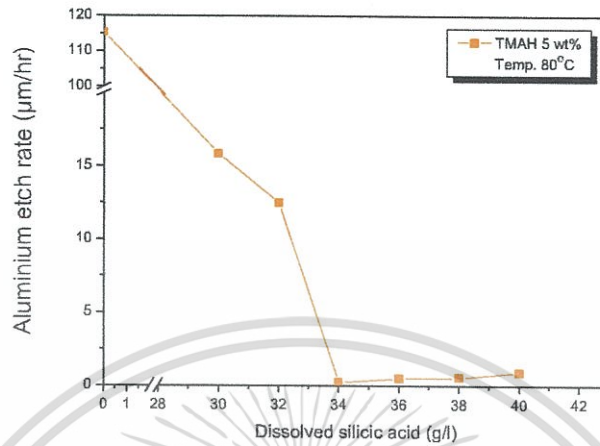
4.1. ลักษณะทางกายภาพของอลูมิเนียม, ซิลิคอนไดออกไซด์ และพื้นผิวซิลิคอน

ในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาอัตราการกัด Al, SiO_2 และ Si ของชิ้นงานเมื่อใช้ TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic ในเงื่อนไขต่างๆ โดยจะหาอัตราการกัดต่างๆด้วยเครื่อง Profilometer เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมก่อนนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

4.1.1 ผลจากอัตราการกัดอลูมิเนียม

การทดลองในตอนนี้เป็นการศึกษาทดลองเพื่อหาอัตราการกัด Al โดยใช้สารละลาย TMAH ที่ 5 wt% และการผสมของสารละลาย TMAH ที่ 5 wt% กับกรด silicic ตั้งแต่ 30 – 40 g/l

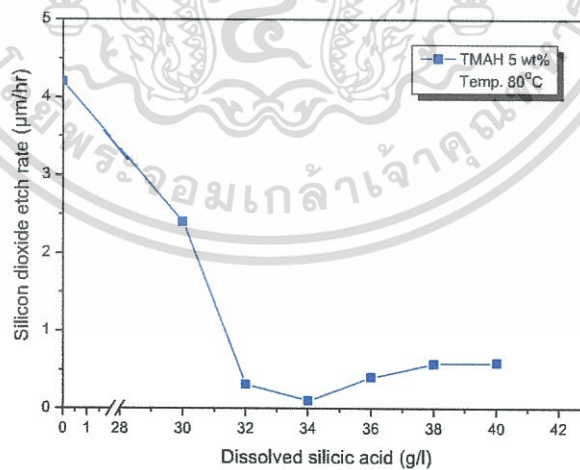
จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดอลูมิเนียมกับกรด silicic ที่เติมในสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าที่กรด silicic 34 g/l นั้นมีอัตราการกัด Al น้อยที่สุดที่ $0.232 \mu\text{m}$ เพราะการเติมกรด Silicic ลงในสารละลาย TMAH มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการกัด Al ลดน้อยลง เนื่องจากการเติมกรด silicic ที่เพิ่มขึ้นทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสารละลาย TMAH ลดน้อยลง[16] หลังจากนั้นอัตราการกัด Al จึงค่อยๆกลับมาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากกรด Silicic ที่เติมมากขึ้นทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์กลับมามีมากขึ้นอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดอลูมิเนียมเทียบกับกรด silicic ที่เติมในสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80°C

4.1.2 ผลจากอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์

การทดลองในตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการกัด SiO_2 โดยใช้สารละลาย TMAH ที่ 5 wt% และการผสมของสารละลาย TMAH ที่ 5 wt% กับกรด silicic ตั้งแต่ 30 – 40 g/l



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์กับกรด Silicic ที่เติมในสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า TMAH มีอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์น้อยมากและเมื่อเติมกรด silicic ลงในสารละลาย TMAH ในช่วงแรกอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์จะลดน้อยลง เนื่องจากการแตกตัวของซิลิคอนที่จับตัวกับไอออนไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสารละลาย TMAH แล้วจึงเกิดเป็นกรดซิลิสิก จึงทำให้อัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์ลดน้อยลง[17] หลังจากนั้นอัตราการกัดซิลิคอนไดออกไซด์จึงค่อยๆกลับมาเพิ่มขึ้นเนื่องจากกรด silicic ที่เติมมากขึ้นทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์กลับมามีมากขึ้นอีกครั้งหนึ่ง จากผลการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 เห็นว่าอัตราการกัด Al และ SiO₂ ที่น้อยที่สุดและเหมาะสมคือการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l ดังนั้นเราจึงใช้เงื่อนไขนี้ในการทดลองต่อไป

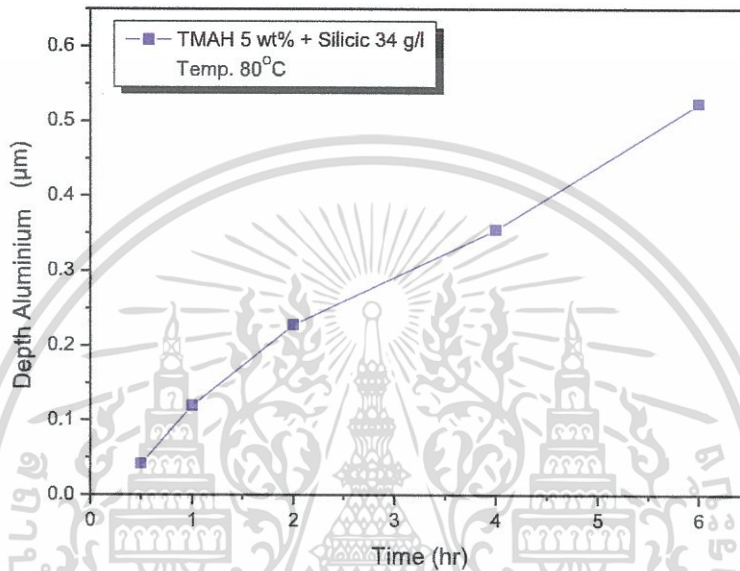
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอัตราการกัดของอลูมิเนียมและซิลิคอนไดออกไซด์เมื่อเติม

| กรดซิลิสิก (g/l) | อัตราการกัด (μm/hr) | |
|------------------|---------------------|------------------|
| | อลูมิเนียม | ซิลิคอนไดออกไซด์ |
| 0 | 115.2825 | 0.2860 |
| 30 | 15.84 | 0.3108 |
| 32 | 15.36 | 0.2344 |
| 34 | 0.232 | 0.1024 |
| 36 | 0.289 | 0.2046 |
| 38 | 0.562 | 0.2200 |
| 40 | 0.893 | 0.2886 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลจากความลึกของอลูมิเนียม

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความลึก Al ที่ถูกกัดเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ 5 wt% กับกรด silicic 34 g/l

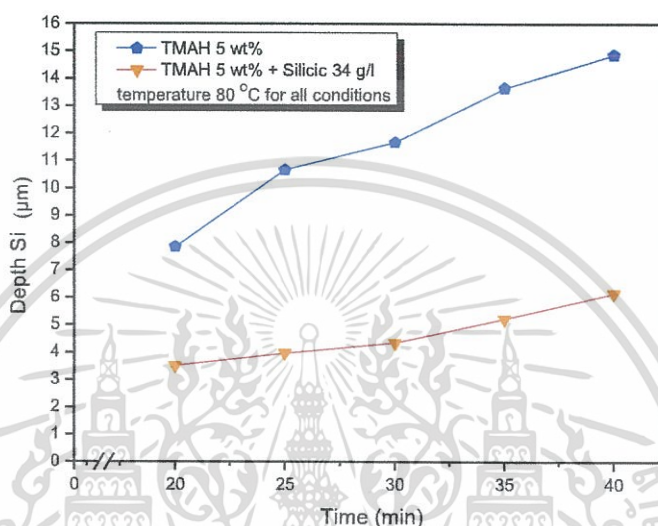


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของ Al กับเวลาด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม Silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C

จากรูปที่ 4.3 เป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของ Al กับเวลาด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l จะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการกัดมากขึ้นความลึกของ Al ที่โดนกัดจะมากขึ้นแต่จะเห็นว่าเมื่ออัตราการกัดที่น้อยมากจึงเห็นว่าอัตราการกัดอลูมิเนียมที่ใช้สารละลายนี้มีความเหมาะสมต่อผลการทดลองถัดๆไป อีกทั้งอัตราการกัดเกือบคงที่จึงทำให้กราฟความลึกแทบจะเป็นเส้นตรง

4.1.4 ผลความลึกของซิลิคอน

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความลึกของซิลิคอน โดยใช้สารละลาย TMAH ที่ 5 wt% กับกรด silicic 34 g/l เทียบกับการใช้สายละลาย TMAH ที่ 5 wt%



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของ Si กับเวลาด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80 °C

จากรูปที่ 4.4 เป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของซิลิคอนกับเวลาด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม Silicic 34 g/l เทียบกับการใช้สายละลาย TMAH ที่ 5 wt% ความลึกของซิลิคอนที่ถูกกัดโดย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l นั้นถูกกัดน้อยกว่าสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% มากถึง 2 เท่า ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอัตราการกัดด้วยว่าอัตราการกัดซิลิคอนของการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l มีอัตราการกัดที่น้อยกว่าการใช้สารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% เนื่องจากกรดซิลิสิกที่เติมลงไปนั้นเป็นผลให้อัตราการกัดซิลิคอนลดลงเนื่องจากซิลิสิกจะแตกตัวแล้วรวมตัวกับไอออนไฮดรอกไซด์ของสารละลาย TMAH จึงทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อการกัดซิลิคอนลดลงอัตราการกัดจึงลดลง[16] อีกทั้งอัตราการกัดเกือบคงที่จึงทำให้กราฟความลึกแทบจะเป็นเส้นตรง

จากผลการทดลองที่ 4.1.1 ถึง 4.1.4 จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะนำไปเปรียบเทียบกับการใช้ผงซิลิคอนและการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% คือการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic 34 g/l เนื่องจากเงื่อนไขนี้มีอัตราการกัด Al น้อยที่สุด

4.2. ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวซิลิคอนและอลูมิเนียม

4.2.1. พื้นผิวซิลิคอนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาพื้นผิวของพื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดโดยศึกษาที่พื้นผิวของพื้นผิวซิลิคอนที่กัดลึกลงไป 4 ไมโครเมตร มีสารละลายที่ใช้ในการกัดตัวตรวจวัดแสงคือสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% และเติมกรด silicic ที่ 34 g/l

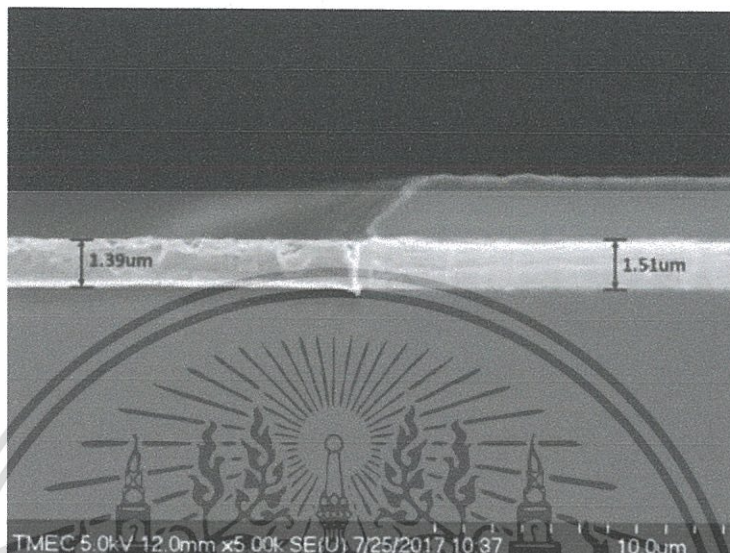


รูปที่ 4.5 พื้นผิวซิลิคอนหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด Silicic 34 g/l อุณหภูมิ 80°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 1500 เท่า

จากรูปที่ 4.5 เป็นรูปพื้นผิวซิลิคอนหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้กล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 1500 เท่าที่มีการกัดลึกลงไป 4 μm ซึ่งจะเห็นว่ากรด silicic ที่เติมลงไปนั้นทำให้ผิวหน้าของซิลิคอนมีความขรุขระเนื่องจากสารที่เกิดจาก silicic ที่ทำให้ฟองของไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่หลุดออกจากผิวหน้าหรือหลุดน้อยลงจึงเกิดเป็นพีระมิด[16] โดยจะเห็นว่าเกิดพีระมิดขนาดใหญ่ที่ผิวหน้าของซิลิคอนขนาดประมาณ 2.78 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. พื้นผิวอลูมิเนียมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 4.6 พื้นผิวอลูมิเนียมหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปที่ 4.6 คือรูปพื้นผิวอลูมิเนียมหลังจากการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งจะสามารถบอกถึงอลูมิเนียมที่ถูกกัดลงไป โดยจะเห็นว่าการใช้สารละลายนี้มีการกัดอลูมิเนียมที่น้อยคือกัดลงไป 0.12 μm

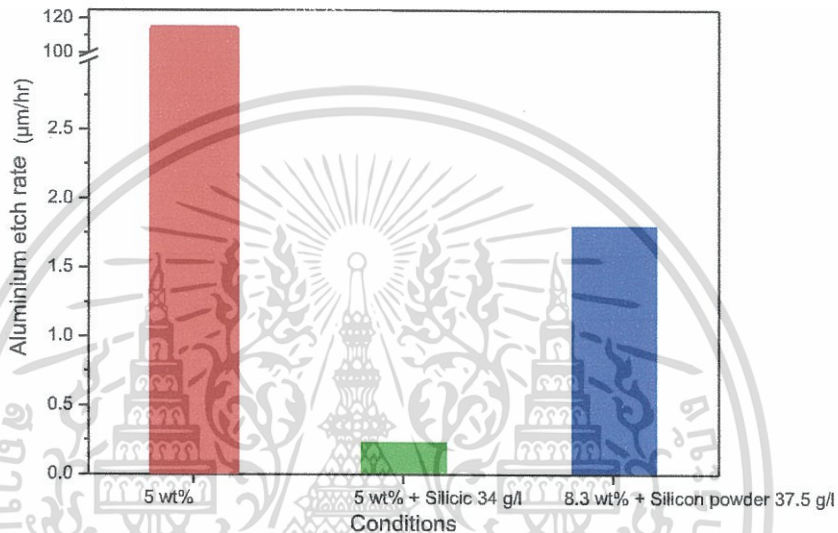
4.3. เปรียบเทียบอัตราการกัดอลูมิเนียมและพื้นผิวซิลิคอน เมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่เติมกรด Silicic เทียบกับการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาจากการเปรียบเทียบอัตราการกัดอลูมิเนียมและพื้นผิวซิลิคอน เมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่เติมกรด silicic เทียบกับการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1. เปรียบเทียบอัตราการกัดอะลูมิเนียม

การทดลองนี้เป็นการศึกษาจากการเปรียบเทียบอัตราการกัดอะลูมิเนียมของชิ้นงานเมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน



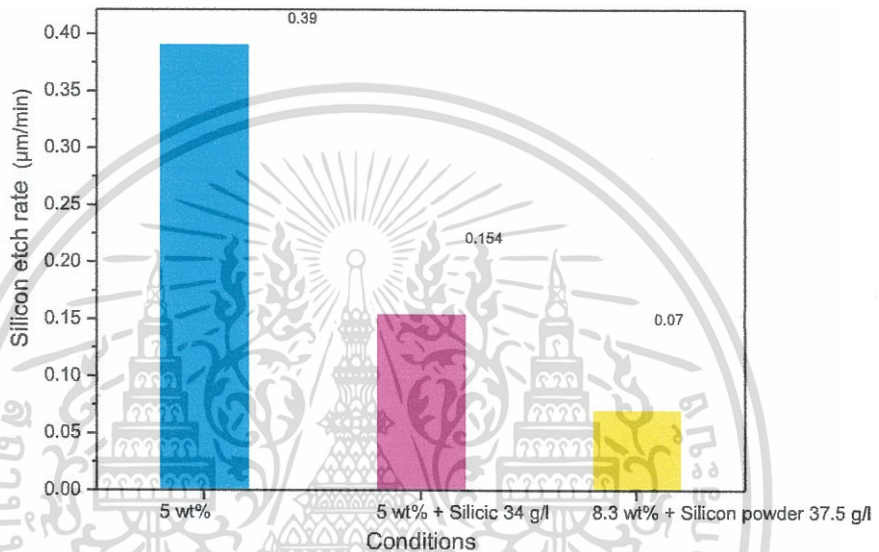
รูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดอะลูมิเนียมกับเงื่อนไขของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80°C

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นอัตราการกัดอะลูมิเนียมโดยการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% , TMAH 5wt% ที่เติม silicic 34 g/l และ TMAH 8.3 wt% ที่เติม Silicic powder 37.5 g/l [7] โดยจะเห็นว่าอัตราการกัดอะลูมิเนียมของสารละลาย TMAH มีการกัดอะลูมิเนียมมากที่สุด และอัตราการกัดอะลูมิเนียมจึงน้อยลงเมื่อเติมผงซิลิคอน เนื่องจากการเติมผงซิลิคอนจะทำให้สารละลาย TMAH แบ่งไปทำปฏิกิริยากับผงซิลิคอนมากกว่าการทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมจึงมีอัตราการกัดอะลูมิเนียมที่ลดลง [7] และอัตราการกัดอะลูมิเนียมที่น้อยที่สุดเมื่อใช้กรดซิลิสิก เนื่องจากกรดซิลิสิกจับตัวกับไฮดรอกไซด์ของ TMAH ทำให้อัตราการกัดอะลูมิเนียมที่เกิดจากไฮดรอกไซด์ลดลง [16] โดยอัตราการกัดที่เติมกรดซิลิสิกมีค่าน้อยกว่าอัตราการกัดที่ใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ถึง 500 เท่า และการเติมผงซิลิคอนถึง 8 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. เปรียบเทียบอัตราการกัดซิลิคอน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาจากการเปรียบเทียบอัตราการกัดซิลิคอนของชิ้นงานเมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน



รูปที่ 4.8 กราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดซิลิคอนกับเงื่อนไขของสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80°C

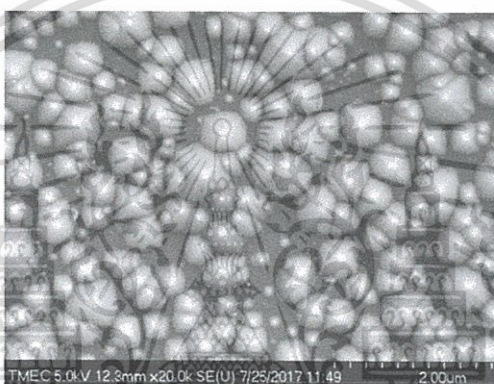
จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นอัตราการกัดซิลิคอนโดยการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% , TMAH 5wt% ที่เติม silicic 34 g/l และ TMAH 8.3 wt% ที่เติม silicic powder 37.5 g/l[7] โดยจะเห็นว่าอัตราการกัดต่อลุ่มิเนียมของสารละลาย TMAH มีการกัดซิลิคอนมากที่สุด และอัตราการกัดซิลิคอนจึงน้อยลงเมื่อเติมผงซิลิคอน เนื่องจากการเติมผงซิลิคอนจะทำให้สารละลาย TMAH แบ่งไปทำปฏิกิริยากับผงซิลิคอนมากกว่าการทำปฏิกิริยากับซิลิคอนจึงมีอัตราการกัดต่อลุ่มิเนียมที่ลดลง[7] และอัตราการกัดซิลิคอนที่ลดลงเมื่อใช้กรดซิลิสิก เนื่องจากกรดซิลิสิกจับตัวกับไฮดรอกไซด์ของ TMAH ทำให้อัตราการกัดซิลิคอนที่เกิดจากไฮดรอกไซด์ลดน้อยลง[16] โดยจะเห็นว่าอัตราการกัดซิลิคอนของการเติมผงซิลิคอนนั้นน้อยเกินไปจึงใช้เวลาในการกัดนานเพื่อที่จะสร้างตัวตรวจวัดแสงที่มีความลึก 4 µm ดังนั้น

การเติมกรดซัลฟิวริกจึงมีความเหมาะสมกว่าสำหรับการกัดซิลิคอนที่เร็วและมีการกัดอูมิเนียมที่น้อยที่สุดอีกด้วย

4.4. เปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอน

4.4.1. ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt%

การทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80 °C



รูปที่ 4.9 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80 °C

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าพื้นผิวหลังการกัดซิลิคอนของสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นพื้นผิวขรุขระที่มีขนาดและความขรุขระไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการใช้สารละลาย TMAH จะทำให้ผิวในการกัดซิลิคอนนั้นเรียบขึ้นจึงทำให้ความขรุขระนั้นไม่สม่ำเสมออีกทั้งขนาดที่ไม่สม่ำเสมอเกิดจากฟองก๊าซของไฮดรอกไซด์ที่มีขนาดไม่เท่ากันอยู่บนผิวหน้าของซิลิคอนในระหว่างการกัดทำให้ส่วนที่มีฟองนั้นไม่ถูกกัดจึงเกิดพีระมิดที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอขึ้น

4.4.2. ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรดซัลฟิวริก 34 g/l

การทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% ที่เติมกรดซัลฟิวริก 34 g/l โดยใช้อุณหภูมิ 80 °C

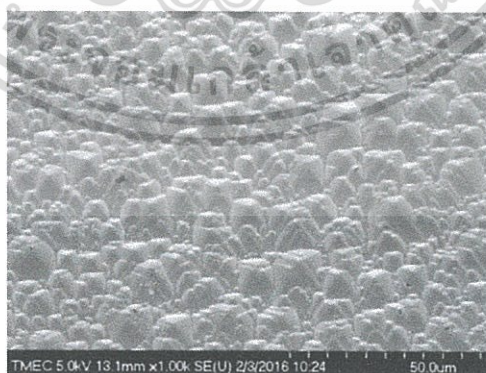


รูปที่ 4.10 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรดซิลิสิก 34g/L ที่อุณหภูมิ 80 °C

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าพื้นผิวหลังการกัดซิลิคอนของสารละลาย TMAH ความเข้มข้น 5 wt% ที่เติมกรดซิลิสิก 34 g/L อุณหภูมิ 80 °C เป็นพื้นผิวที่มีโพรงขนาดเล็กใกล้เคียงกันและมีความขรุขระสม่ำเสมอ เนื่องจากการเติมซิลิสิกทำให้พื้นผิวของซิลิคอนเกิดความขรุขระจากฟองก๊าซไฮดรอกไซด์ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวซิลิคอนซึ่งมีขนาดเล็กเท่าๆกัน[16]ซึ่งทำให้เกิดโพรงขนาดเล็กใกล้เคียงกันและมีความขรุขระอย่างสม่ำเสมอ

4.4.3. ลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/L

การทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะพื้นผิวซิลิคอนที่กัดด้วยสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/L ที่อุณหภูมิ 80 °C



รูปที่ 4.11 พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/L ที่อุณหภูมิ 80 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าพื้นผิวหลังการกัดซิลิคอนของสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/l อุณหภูมิ 80 °C[7] เป็นพื้นผิวที่ขรุขระสม่ำเสมอแต่รูปทรงไม่เห็นเป็นฐานที่แน่ชัด เนื่องจากผงซิลิคอนนั้นทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์ที่ไปกัดที่พื้นผิวซิลิคอนและอลูมิเนียมเปลี่ยนมากัดผงซิลิคอนก่อนทำให้การกัดพื้นผิวซิลิคอนนั้นน้อยจึงทำให้พื้นผิวในการกัดไม่ค่อยลึกอีกทั้งยังเกิดรูปทรงที่ไม่เห็นเป็นฐานแน่ชัด[7]

จะเห็นว่าเมื่อดูที่พื้นผิวของซิลิคอนหลังการกัดแล้วจะเห็นข้อดีของสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l คือมีขนาดพีระมิดที่ใกล้เคียงกันและมีความขรุขระอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่ไม่สามารถควบคุมขนาดพีระมิดและความสม่ำเสมอของความขรุขระได้ อีกทั้งเมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/l จะเห็นว่าผิวที่ขรุขระนั้นเกิดรูปทรงที่ไม่เห็นฐานที่แน่ชัดและยังมีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะนำการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l มาทำเป็นตัวตรวจวัดแสงและนำไปหากระแสแสงโดยคาดว่าค่ากระแสแสงและกระแสรั่วที่ดีกว่าการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% และสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/l อีกด้วย

4.5. เปรียบเทียบค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบและแบบร่องรูปตัวยูที่กัดเปียกด้วยสารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติม silicic acid และสารละลาย KOH ซึ่งมีความลึก 4 μm

4.5.1. ค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ

ในการทดลองนี้จะทำการหาค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะที่ไม่ได้รับแสงตกกระทบหรือเรียกว่าค่ากระแสรั่ว โดยทำการจ่ายแรงดันไบอัส 10 V โดยให้ขั้วหนึ่งของตัวตรวจวัดแสงรับแรงดันไบอัสตรง และอีกขั้วหนึ่งรับไบอัสย้อนกลับซึ่งจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะและทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำได้ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากระแสรั่วที่แรงดันไบอัส 10 V ของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบเชิง

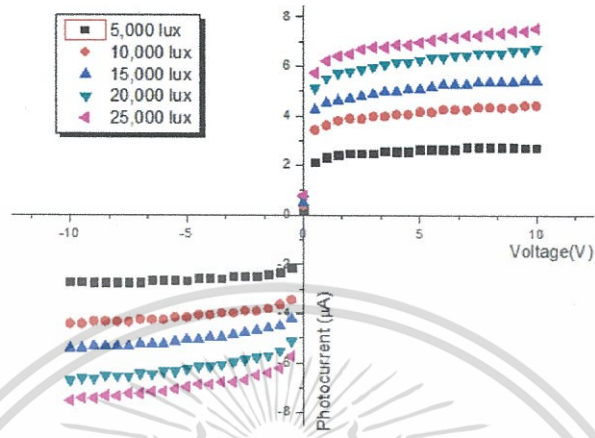
ราบและแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติมกรด silicic และสารละลาย KOH

| ชนิดของตัวตรวจวัดแสง | ค่ากระแสของตัวตรวจวัดแสง ขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบ |
|----------------------------------|--|
| MSM | 0.17 μ A |
| UMSM TMAH 5 wt% | 1.48 μ A |
| UMSM KOH 20 wt% | 20.80 μ A |
| UMSM TMAH 5 wt% + silicic 34 g/l | 5.53 μ A |

จากตารางที่ 4.2 เป็นตารางแสดงค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบเชิงราบและแบบร่องรูปตัวยูที่ใช้สารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติมกรด silicic และสารละลาย KOH เมื่อใช้แรงดันไบอัส 10 V โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสรั่วของตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบมีค่าน้อยที่สุดและตัวตรวจวัดแสงแบบร่องรูปตัวยูของการใช้สารละลาย TMAH 5 wt%, TMAH 5 wt% + Silicic 34 g/l และ KOH 20 wt% มีค่ากระแสรั่วมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่ากระแสรั่วที่เพิ่มขึ้นเกิดจากประจุตกค้างจากสารละลาย KOH และ TMAH จึงทำให้เกิดค่ากระแสรั่วมากขึ้น[11]

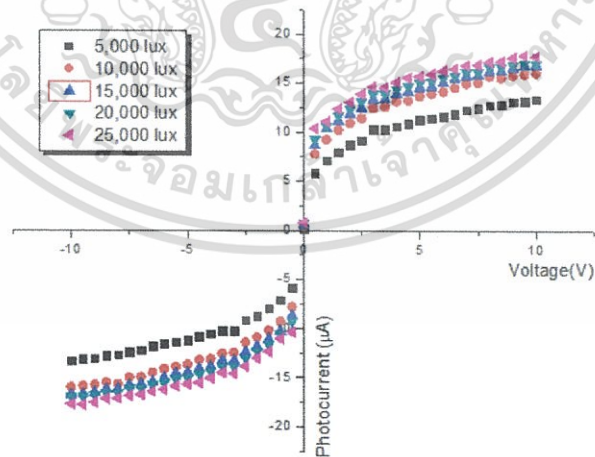
4.5.2. ค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแสงตกกระทบ

ในการทดลองนี้จะทำการหาค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงขณะที่ได้รับแสงตกกระทบ โดยทำการจ่ายแรงดันไบอัสตั้งแต่ -10 V ถึง 10 V โดยให้ขั้วหนึ่งของตัวตรวจวัดแสงรับแรงดันไบอัสตรง และอีกขั้วหนึ่งรับไบอัสย้อนกลับซึ่งจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะและทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำได้



รูปที่ 4.12 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบขณะเมื่อได้รับแสงตกกระทบบ

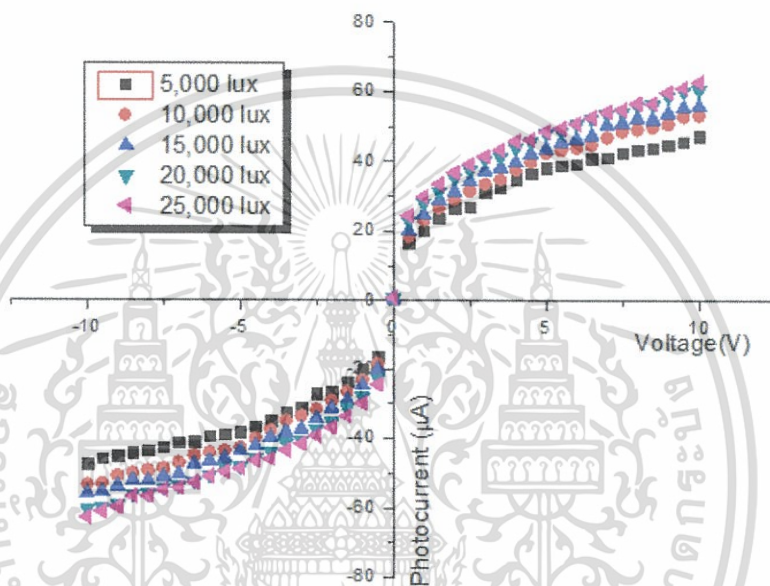
จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบเชิงราบโดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสที่ได้นั้นมีค่า 7.53 μA ที่แรงดันไบอัส 10 V และค่ากระแสและแรงดันนั้นมีความสมมาตรกันไม่ว่าจะใช้ความเข้มแสงแตกต่างกันและยิ่งความเข้มแสงมากค่ากระแสยิ่งมีค่ามากเมื่อใช้แรงดันไบอัสมากขึ้น



รูปที่ 4.13 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% เมื่อได้รับแสงตกกระทบบ

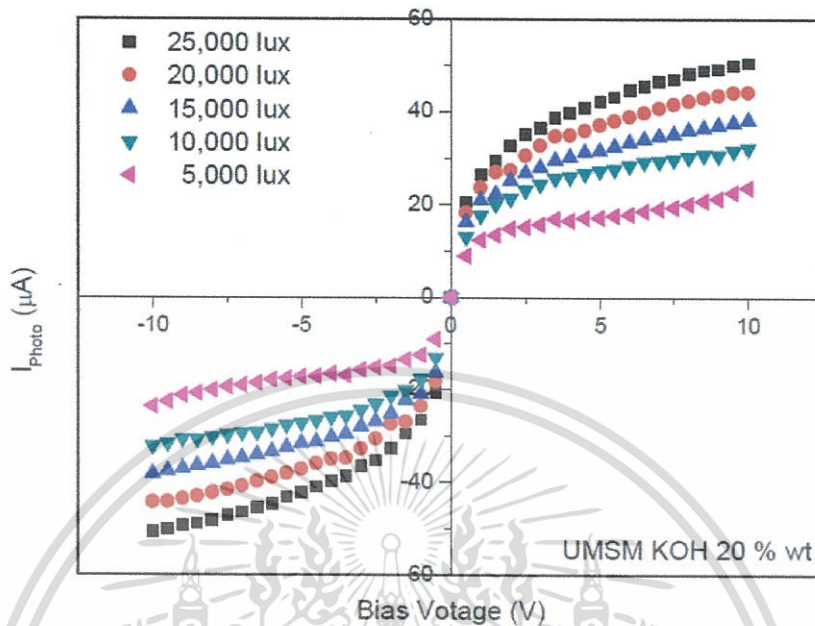
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้างแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสที่ได้ นั้นมีค่า 17.72 μA ที่แรงดันไบอัส 10 V และค่ากระแสและแรงดันนั้นมีความสมมาตรกันไม่ว่าจะใช้ความเข้มแสงแตกต่างกันและยิ่งความเข้มแสงมากค่ากระแสยิ่งมีค่ามากเมื่อใช้แรงดันไบอัสมากขึ้น ซึ่งค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้น[7]



รูปที่ 4.14 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l เมื่อได้รับแสงตกกระทบ

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้างแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสที่ได้มีค่า 62.72 μA ที่แรงดันไบอัส 10 V และค่ากระแสและแรงดันนั้นมีความสมมาตรกันไม่ว่าจะใช้ความเข้มแสงแตกต่างกันและยิ่งความเข้มแสงมากค่ากระแสยิ่งมีค่ามากเมื่อใช้แรงดันไบอัสมากขึ้น ซึ่งค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นและมีผิวขรุขระสม่ำเสมอที่ช่วยในการรับแสง[7]

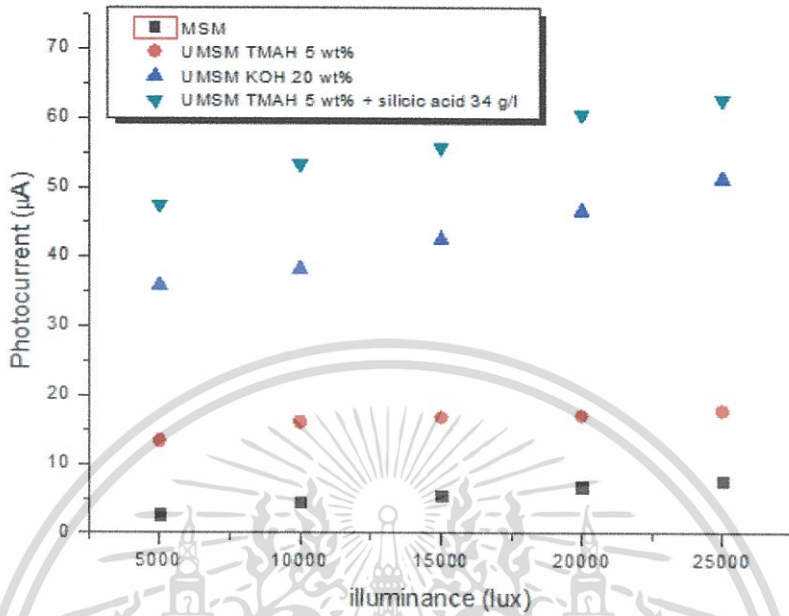


รูปที่ 4.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงร่องรูปตัวยูที่ใช้สารละลาย KOH 20 wt% เมื่อได้รับแสงตกกระทบ [18]

จากรูปที่ 4.15 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสง โครงสร้างแบบร่องรูปตัวยูที่ใช้สารละลาย KOH 20 wt% เมื่อ โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแส ที่ได้นั้นมีค่า 51.34 μA [18] ที่แรงดันไบอัส 10 V และค่ากระแสและแรงดันนั้นมีความ สมมาตรกันไม่ว่าจะใช้ความเข้มแสงแตกต่างกันและยิ่งความเข้มแสงมากค่ากระแสนิ่งมีค่า มากเมื่อใช้แรงดันไบอัสมากขึ้น ซึ่งค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นและมีผิว ขรุขระสม่ำเสมอที่ช่วยในการรับแสง[7]

4.5.3. เปรียบเทียบค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบเชิงราบและ ตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยู

ในการทดลองนี้เป็นการนำค่ากระแสและแรงดันในตอนที่ 4.5.2. มาเปรียบเทียบ ในช่วงการจ่ายแรงดันไบอัส 0-10 V โดยนำตัวตรวจวัดแสงที่ใช้เงื่อนไขแบบเชิงราบและ แบบร่องรูปตัวยูที่ใช้สารละลาย TMAH ที่เต็มและไม่เต็ม silicic acid และสารละลาย KOH ในการกัด



รูปที่ 4.16 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบและตัวตรวจวัดแสงแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH ที่เติมและไม่เติมกรด silicic และสารละลาย KOH

จากรูปที่ 4.16 เป็นกราฟเปรียบเทียบกระแส-แรงดันระหว่างตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบเชิงราบและร่องรูปตัวยูจะเห็นได้ว่าค่ากระแสที่เงื่อนไขการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติม silicic acid มีค่ากระแสมากที่สุดที่ 62.72 μA เนื่องจากมีพื้นที่รับแสงมากและมีผิวขรุขระสม่ำเสมอจึงมีกระแสแสงมาก[7] และนำค่ากระแสต่างๆของตัวตรวจวัดแสงแบบร่องรูปตัวยูมาเปรียบเทียบกับตัวตรวจวัดแสงแบบเชิงราบได้ดังตารางที่ 4.3

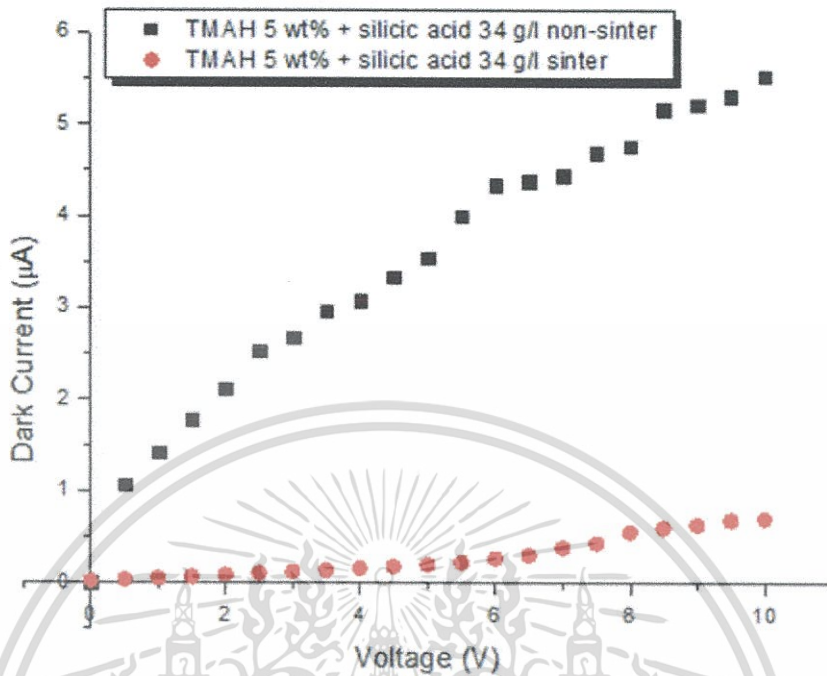
ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากระแสแสงของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้าง Al/n-Si/Al แบบเชิงราบ และแบบร่องรูปตัวยูเมื่อจ่ายแรงดันไบอัส 10 V

| ชนิดของตัวตรวจวัดแสง | กระแสแสง(μA) | ค่ากระแสแสงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ MSM |
|----------------------------------|---------------------------|--|
| MSM | 7.53 | |
| UMSM TMAH 5 wt% | 17.72 | 2.35 |
| UMSM KOH 20 wt% | 51.34 | 6.82 |
| UMSM TMAH 5 wt% + silicic 34 g/l | 62.72 | 8.33 |

จากตารางที่ 4.3 เป็นตารางเปรียบเทียบกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบเชิงราบและแบบร่องรูปตัวยูในเงื่อนไขต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสแสงของการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% + Silicic 34 g/l มีค่ากระแสแสงมากที่สุดและมีค่ากระแสแสงมากกว่าแบบเชิงราบถึง 8.33 เท่า ค่ากระแสแสงที่มากรองลงมาคือการใช้สารละลาย KOH 20 wt% ซึ่งมีค่ามากกว่าแบบเชิงราบ 6.82 เท่า และการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% มีค่ากระแสแสงมากกว่าแบบเชิงราบ 2.35 เท่า

4.6. การทดสอบผลของอุณหภูมิในกระบวนการขึ้นเตอริงที่มีผลต่อกระแสรั่วของตัวตรวจวัดแสง

ในการทดลองนี้จะทำการหาค่ากระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นเตอริงในขณะที่ได้รับแสงตกกระทบ โดยทำการจ่ายแรงดันไบอัสตั้งแต่ 0 V ถึง 10 V โดยให้ขั้วหนึ่งของตัวตรวจวัดแสงรับแรงดันไบอัสตรง และอีกขั้วหนึ่งรับไบอัสย้อนกลับซึ่งจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะและทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่จากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำได้



รูปที่ 4.17 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l เมื่อไม่ได้รับแสงตกกระทบทั้งก่อนกระบวนการซินเตอร์ริงและหลังกระบวนการซินเตอร์ริง

จากรูปที่ 4.17 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดันของตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยูโดยใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/l ก่อนกระบวนการซินเตอร์ริงและหลังกระบวนการซินเตอร์ริง จะเห็นว่ากระแสรั่วหลังกระบวนการซินเตอร์ริงมีค่าน้อยกว่าก่อนซินเตอร์ริงถึง 7.79 เท่า เนื่องจากการผ่านกระบวนการซินเตอร์ริงทำให้รอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิคอนมีสมบัติที่ดีขึ้น[4]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองของอัตราการกัดซิลิคอน (Si), ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมิเนียม (Al) ของซิลิคอนเมื่อใช้ TMAH ที่เติมกรด silicic ในเงื่อนไขต่างๆ, ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการกัดด้วยสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% และเติม silicic acid ที่ 34 g/l โดยดูที่พื้นผิวซิลิคอนหลังการกัด, ผลการเปรียบเทียบอัตราการกัด Si และ Al ของตัวตรวจวัดแสงเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน และในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบพื้นผิวซิลิคอนเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอน

โดยผลการทดลองส่วนแรกทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อนำไปกัดซิลิคอนแบบร่องรูป ด้วยและนำไปศึกษาต่อ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรด silicic ที่เติมลงในสารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% และศึกษาอัตราการกัด Si, SiO_2 และ Al โดยได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดซิลิคอนคือการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic ที่ 34 g/l ที่มีอัตราการกัด Al และ SiO_2 คือ 0.232 และ 0.1024 $\mu\text{m/hr}$ ตามลำดับและอัตราการกัด Si คือ 0.154 $\mu\text{m/min}$ เนื่องจากเงื่อนไขนี้มีอัตราการกัด Al และ SiO_2 น้อยที่สุดซึ่งเป็นผลมาจากการเติมกรด silicic ลงในสารละลาย TMAH ที่ทำให้ไอออนไฮดรอกไซด์ของ TMAH รวมตัวกับกรด silicic จึงทำให้อัตราการกัดนั้นน้อยลง[16]

จากผลการทดลองส่วนที่สองเป็นการทดลองเพื่อดูพื้นผิวชิ้นงานหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic ที่ 34 g/l และมีความลึกที่ 4 ไมโครเมตร ซึ่งผลการทดลองจะเห็นว่าพื้นผิวของซิลิคอนนั้นมีความขรุขระเนื่องจากผลของการเติมกรด silicic ที่ทำให้ฟองก๊าซไอออนไฮดรอกไซด์จับตัวอยู่ที่ผิวหน้าของซิลิคอน[17]และยังเห็นถึงความลึกของอลูมิเนียมที่ถูกกัดออกไปซึ่งมีค่าที่น้อยมากคือ 0.12 μm เนื่องจากการเติมกรด silicic ทำให้มีอัตราการกัด Al ที่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบอัตราการกัด Si และ Al ของชิ้นงานเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอนโดยจะเห็นว่ากรัด silicic นั้นมีอัตราการกัด Al ที่น้อยกว่าการใช้ TMAH ประมาณ 2 เท่า และการเติมผงซิลิคอนถึงประมาณ 8 เท่า

จากผลการทดลองในส่วนที่สี่เป็นการเปรียบเทียบพื้นผิวของซิลิคอนเมื่อใช้สารละลาย TMAH ที่ไม่เติมและเติมกรด silicic และการใช้สารละลาย TMAH ที่เติมผงซิลิคอนซึ่งจะเห็นว่าพื้นผิวของซิลิคอนหลังการกัดด้วยสารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/L คือมีขนาดพริมาตรที่ใกล้เคียงกันและมีความขรุขระอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย TMAH 5 wt% และสารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/L ที่มีผิวที่ขรุขระนั้นเกิดรูปทรงที่ไม่เห็นฐานที่แนชัดหรือมีขนาดที่แตกต่างกัน

ในการทดลองที่ห้าเป็นการศึกษาค่ากระแสและแรงดันของตัวตรวจวัดแสงโดยการวัดค่ากระแส-แรงดันนั้นจะแบ่งเป็นสองส่วน โดยที่ส่วนแรกนั้นจะทำการวัดค่าของตัวตรวจวัดแสงขณะไม่ได้รับแสงตกกระทบเพื่อหากระแสรั่วและส่วนที่สองนั้นจะทำการวัดค่าของตัวตรวจวัดแสงขณะได้รับแสงตกกระทบเพื่อหากระแสแสง โดยตัวตรวจวัดแสงโครงสร้างแบบร่องรูปตัวยูที่ใช้สารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% ที่เติม silicic ที่ปริมาตร 34 g/L มีกระแสรั่วและกระแสแสงอยู่ที่ 5.53 μA , 62.72 μA ตามลำดับ ซึ่งกระแสรั่วที่เพิ่มมาเป็นผลมาจากการใช้สารเคมีในกระบวนการกัดจึงทำให้มีประจุจากสารเคมีตกค้างได้[11] และค่ากระแสที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่รับแสงเพิ่มขึ้นและมีผิวขรุขระสม่ำเสมอที่ช่วยในการรับแสง[7]

และในการทดลองที่หกเป็นการศึกษาค่ากระแสรั่วเมื่อนำตัวตรวจวัดแสงที่ใช้สารละลาย TMAH ที่ความเข้มข้น 5 wt% ที่เติม silicic ที่ปริมาตร 34 g/L มาผ่านกระบวนการซินเดอริงทำให้ค่ากระแสรั่วที่ได้นั้นมีค่าลดลงซึ่งมีค่า 0.70 μA หรือลดลง 7.79 เท่า เนื่องจากการผ่านกระบวนการซินเดอริงทำให้รอยสัมผัสระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิคอนมีสมบัติที่ดีขึ้น[7]

จากการทดลองทั้งหมดจะเห็นว่ากรัดใช้สารละลาย TMAH 5 wt% ที่เติมกรด silicic 34 g/L มีผลให้อัตราการกัดอลูมิเนียม ซิลิคอนไดออกไซด์ และซิลิคอนลดลง อีกทั้งพื้นผิวของซิลิคอนยังมีความขรุขระอย่างสม่ำเสมอและขนาดของพริมาตรที่ใกล้เคียงกันซึ่งจะเห็นว่าสารละลายนี้มีค่าต่างๆที่ดีกว่าการใช้สารละลาย TMAH 8.3 wt% ที่เติมผงซิลิคอน 37.5 g/L จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิจัยเก่า[7]อีกทั้งผงซิลิคอนนั้นหาไม่ได้ ต้องบดซิลิคอนเองและอาจจะไม่บริสุทธิ์ เมื่อเทียบกับกรดซิลิสิกที่หาตามท้องตลาดง่ายและบริสุทธิ์ไม่มีสารเจือปน ในส่วนของค่ากระแสและแรงดันจะเห็นได้ว่าตัวตรวจวัดแสงที่ใช้สารละลายที่ปรับปรุงนั้นมีค่ากระแสแสงดีกว่าตัวตรวจวัดแสงในเงื่อนไขอื่นๆ และเมื่อผ่านกระบวนการซินเตอร์ริงจะทำให้กระแสรั่วมีค่าลดลงอย่างมากดังนั้นการปรับปรุงสารละลายนี้จึงเป็นที่น่าสนใจกับการศึกษาต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นางสาวเบญจพร พวงจำปี, “ซิลิคอน”, กลุ่มเทคโนโลยีโลหวิทยาสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2547, รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 18/2547
- [2] สมเกียรติ ศุภเดช, “เซมิคอนดักเตอร์ดีไวซ์”, คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2551.
- [3] สมเกียรติ ศุภเดช, “เทคโนโลยีวงจรรวม 2”, แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, “รอยสัมผัสโลหะและสารกึ่งตัวนำ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2558.
- [5] Cletus J. Kaiser, “The PN Junction Diode” [Online]. Available : http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_3.html
- [6] ธเนศ โชะเหม, “การออกแบบและการสร้างตัวตรวจจับแสงชนิด Al/n-Si/Al แบบพลาสมา”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาไมโครอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [7] งามจิต มงคลธนานนท์, “การศึกษาการกัดแผ่นผลึกซิลิคอนแบบร่องรูปด้วยสารละลาย TMAH สำหรับสร้างตัวตรวจจับแสงแบบ UMSM”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาไมโครอิเล็กทรอนิกส์, เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] บุศรา นรารักษ์, “การศึกษากระบวนการสร้างและลักษณะสมบัติของซิลิคอนโฟโตไดโอด โครงสร้างโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะที่ถูกแพร่ด้วยอะตอมแพลตทินัม”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาไมโครอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2556
- [9] Li-Hong Lai, “A U-Grooved Metal-Semiconductor-Metal Photodetector (UMSM-PD) with an i-a-Si:H Overlayer on a [100] P-Type Si Wafer” IEEE, and Jyh-Wong Hong
- [10] Ki-Wha Jun, Byung-Min Kim, Jung-Sik Kim., “Silicon etching characteristics for tetramethylammonium hydroxide-based solution with additives”, Micro & Nano Letters, 2015, Vol. 10, Iss. 10, pp. 487–490

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [11] Darling R.B. “Wet Etching” [Online]. Available: http://www.virlab.virginia.edu/nanoscience_class/lecture_notes/Microfabrication_Supporting_materials_files/WetEtching.pdf. 2015
- [12] Wet-Chemical Etching and Cleaning of Silicon, January 2003 Virginia Semiconductor
- [13] Duan, Xuefeng, “Microfabrication Using Bulk Wet Etching with TMAH”, Master of Science Department of Physics, McGill University, 3600 University, Montreal, Quebec H3A 2T8 2005-8-31
- [14] CRC Handbook of Chemistry and Physics, 44th ed. pp 2143–2184
- [15] Cletus J. Kaiser, “Photo Detectors” [Online]. Available: http://www.ele.uri.edu/Courses/ele432/spring08/photo_detectors.pdf
- [16] S. A. Greenberg, (1959), “The Chemistry of Silicic Acid”, Seton Hall University, South Orange, New Jersey, Journal of Chemical Education, 218–219
- [17] Dong Chen, ShiBin Liu, JinTao Liang, XiaoWei Hou, Bo Guo, ShangLin Yang and Hui Lv, (2015), “Research on increasing silicon etch rate in deep wet etching with tetramethyl ammonium hydroxide etchant”, J Nanoengineering and Nanosystems 2015, Vol. 229(3) 136–140
- [18] ยุทธนา แจ็งอรุณ, “ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดปิรามิดแบบสุ่มบนผิวซิลิคอน โดยใช้สารละลาย TMAH และ KOH”, คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้