

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความต้านทานของฟิล์มโพลีซิลิคอน และอมอร์ฟัสซิลิคอน หลังกระบวนการยิงฝังประจุเพื่อใช้ในอุปกรณ์ตรวจจับความดัน
นักศึกษา	นายการุณ แซ่จอก
รหัสประจำตัว	48061302
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.อัมพร โพธิ์ไย

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ จะกล่าวถึงการปรับปรุงการลดค่าความต้านทานของเปียโซรีซิสทีฟทีปรีซิสเตอร์ หรือ โพลีรีซิสเตอร์ที่อยู่ภายในอุปกรณ์ตรวจจับความดันที่มีขนาดระดับไมโครเมตร โดยทำการศึกษาความแตกต่างกันของค่าความต้านทานเชิงแผ่นของโพลีรีซิสเตอร์ที่สร้างมาจากฟิล์มบางที่ต่างกัน 2 ชนิด คือโพลีซิลิคอน และ อมอร์ฟัสซิลิคอน ที่ทำการสร้างด้วยวิธี LPCVD การปรับค่าปริมาณสารเจือในการยิงฝังประจุที่ปริมาณสารเจือดังนี้คือ 1×10^{16} , 1.3×10^{16} , 1.6×10^{16} และ 2.0×10^{16} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร และการปรับวิธีการแอนนัล ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เวลา 15 ชั่วโมง เป็นแบบมีการจ่ายก๊าซออกซิเจน กับไนโตรเจน และจ่ายก๊าซไนโตรเจนอย่างเดียว แล้วนำไปทำการวัดค่าความต้านทานเชิงแผ่นด้วยเทคนิคโฟร์พอยท์โพรบ พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานเชิงแผ่นที่ได้จากฟิล์ม อมอร์ฟัสซิลิคอน มีค่าน้อยกว่าโพลีซิลิคอนเท่ากับ 34.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุมาจากหลังการแอนนัล ขนาดของเกรน ของ อมอร์ฟัสซิลิคอน มีขนาดใหญ่กว่าของโพลีซิลิคอน นอกจากนี้พบว่าเมื่อทำการ เพิ่มก๊าซออกซิเจนในการแอนนัลทำให้ ค่าความต้านทานเชิงแผ่นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นได้นำไปประยุกต์ใช้และสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดัน พบว่าได้ค่าความไวในการตอบสนองความดัน เท่ากับ $1.2 \mu\text{V/V/kPa}$ งานวิจัยนี้จะประโยชน์ในการเลือกฟิล์มและเทคนิคการแอนนัลสำหรับการสร้างโพลีรีซิสเตอร์ ในการนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความดันที่มีขนาดระดับไมโครเมตร ซึ่งต้องการความต้านทานเปียโซรีซิสทีฟที่มีค่าต่ำ เพราะทำให้ได้ความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างโลหะกับโพลีซิลิคอนมีค่าลดลง และได้ค่า สัมประสิทธิ์ความต้านทานของอุณหภูมิ (TCR) อยู่ในช่วงบวก ซึ่งจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิเป็นเชิงเส้น นอกจากนี้วิธีการนี้ยังได้ช่วยลดปริมาณและเวลาในการเจือสารในการยิงฝังประจุอีกด้วย

Thesis Title	Study of Poly-Si and a-Si Film Resistance after Implantation Process For Pressure Sensor
Student	Mr. Karoon Saejok
Student ID.	48061302
Degree	Master of Engineering
Programme	Microelectronics Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Surasak Niemchareon
Thesis Co-Advisor	Dr. Amporn Poyai

ABSTRACT

This thesis presents methods to adjust sheet resistance (R_{sh}) of piezoresistor or polyresistor embedded in microscale pressure sensor. The research focused on the differences of sheet resistance between 2 types of thin film; namely polycrystalline silicon (polysilicon) and amorphous silicon (a-Si). The films were deposited by Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD) technique. These films were implanted with dose of 1×10^{16} , 1.3×10^{16} , 1.6×10^{16} and 2.0×10^{16} ion/cm² and then annealed in nitrogen atmosphere with or without oxygen at 800 °C for 15 hours. Rsh is then measured with 4-point probe. The Rsh of polysilicon film is 34.48% higher than a-Si film, because, at the same temperature, annealing of a-Si film would produce larger grain size than polysilicon film. Furthermore, adding oxygen during annealing and including screen oxide technique will increase Rsh. The pressure sensor that used this condition of low Rsh of piezoresistor can achieve sensitivity of 1.2 μ V/V/kPa. This work will be useful for choosing film type and annealing technique for micro pressure sensors which need low Rsh. In addition, it can reduce contact resistance between metal and the polyresistor. The resulting temperature coefficient of resistance (TCR) is positive and will produce a linear relationship between resistance and temperature. Furthermore the dose and, hence, time for implantation can be reduced significantly.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.อัมพร โพธิ์ไธ จากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน ตั้งแต่ความรู้ในการวิจัย ที่มุ่งเน้นการปรับความต้านทานของโพลีรีซิสเตอร์ที่สัมพันธ์กับเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตรงตาม แก้ววิทยานิพนธ์และให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการทดลองและในการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดัน และให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมืออย่างดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2548 จากบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ พ่อและแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนที่ดีตลอดมา

การุณ แซ่จอก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
รายการคำย่อ.....	XV
รายการสัญลักษณ์.....	XVI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	3
1.3 การดำเนินการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย.....	4
1.5 รายละเอียดเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	6
2.1 फिल्मโพลิซึลิกอน และฟิล์มอมอร์ฟัสซึลิกอน.....	6
2.1.1 โครงสร้างฟิล์มโพลิซึลิกอน.....	6
2.1.2 ลักษณะโครงสร้างของฟิล์มอมอร์ฟัสซึลิกอน.....	7
2.1.3 คุณสมบัติฟิล์มโพลิซึลิกอน.....	8
2.1.4 กระบวนการสร้างฟิล์มโพลิซึลิกอนและอมอร์ฟัสซึลิกอน.....	9
2.1.5 เทคนิคกระบวนการวิเคราะห์ฟิล์มโพลิซึลิกอน และอมอร์ฟัสซึลิกอน.....	10
2.2 ตัวต้านทานที่สร้างในวงจรรวม และเซ็นเซอร์.....	11
2.2.1 ตัวต้านทานชนิดแพร่สารเจือ.....	12
2.2.2 ตัวต้านทานชนิดพินช์.....	13
2.2.3 ตัวต้านทานชนิดอิมแพกซ์เซชัน.....	14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.4 ตัวต้านทานชนิดยิ่ฟั้ประจุ.....	15
2.3 กระบวนการยิ่ฟั้ประจุ	15
2.3.1 เทคนิคการยิ่ฟั้ประจุ.....	16
2.3.2 เทคนิคการแอนนึลหลังการยิ่ฟั้ประจุ.....	19
2.4 อุปกรณ์ตรวจจ้บความดันขนาดจุลภาค.....	20
2.4.1 โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจ้บความดันขนาดจุลภาคแบบเป็ยโซรีซีฟทีป.....	20
2.4.2 สัมประสัทธิเป็ยโซรีซีฟทีปตามยาวและสัมประสัทธิเป็ยโซรีซีฟทีปตามขวาง.....	22
2.4.3 ความเค้นตามความยาวและความเค้นตามขวาง.....	24
2.4.4 ความเค้นและสัมประสัทธิเป็ยโซรีซีฟทีปในตั้วต้านทาน.....	26
2.5 วงจรวิศโตนบรีดจ้.....	29
2.6 ความไวในการตอบสนอง.....	30
2.7 เทคนิควัด R_c ด้วยโครงสร้าง CBK.....	31
2.8 ทีชีอาร์.....	32
บทที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และการวัด.....	34
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติฟิล์มโพลีซิลิกอนและอมอร์ฟัส.....	34
3.1.1 จุลทรรศน์อเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	34
3.1.2 เครื่องวัดความหนา อิลลิปโซมิเตอร์.....	37
3.2 เครื่องวัดคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของโพลีซิลิเตอร์.....	39
3.2.1 เครื่องโพร์พอยท์โพรบ.....	39
3.2.2 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและทดสอบความดัน.....	43
บทที่ 4 โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจ้บความดันและการออกแบบการทดลอง.....	44
4.1 โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจ้บความดันที่ใช้ในงานวิจัย.....	44
4.2 โครงสร้างตั้วต้านทานเป็ยโซรีซีฟทีป ชนิดโพลีซิลิเตอร์ใน อุปกรณ์ตรวจจ้บความดัน	45

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 การออกแบบลวดลายตัวตรวจจับความดันแบบเปียโซรีซีฟทิป.....	47
4.4 ลำดับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	48
4.5 การออกแบบการทดลองสร้างโพลิริซีสเตอร์.....	50
4.6 การออกแบบการทดลองสร้างรอยสัมผัสระหว่างโพลีซิลิคอนที่รับ การเชื่อมกับโลหะ.....	51
4.7 การออกแบบการทดลองสร้างโครงสร้างสำหรับวัด ที่ชีอาร์ ของโพลิริซีเตอร์.....	53
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	55
5.1 การเตรียมชิ้นงาน ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si.....	55
5.1.1 การหาเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการปรับอัตราการ จ่ายก๊าซ SiH_4	55
5.1.2 การหาเงื่อนไขการปลูกฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการปรับความดัน ภายในท่อควอทซ์.....	58
5.1.3 การทดสอบชิ้นงาน ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si.....	59
5.2 ศึกษาคุณสมบัติของ ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si หลังกระบวนการยิงฝังประจุ.....	62
5.2.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาคุณสมบัติฟิล์ม Poly-Si และ a-Si หลังกระบวนการยิงฝังประจุ	62
5.2.2 ผลการวัดความต้านทานเชิงแผ่นด้วยเครื่องโพร์พอยท์โพรบ.....	62
5.2.3 ผลการวัดด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	63
5.3 ศึกษาความต้านทานของโพลิริซีสเตอร์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเจือในกระบวนการยิงฝังประจุ.....	65
5.3.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาความต้านทานของ โพลิริซีสเตอร์ ที่สร้างจากฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณ สารเจือในกระบวนการยิงฝังประจุ.....	65
5.3.2 ผลการวัดความต้านทานเชิงแผ่นด้วยเครื่องโพร์พอยท์โพรบ.....	66

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.4 ศึกษาโครงสร้างและความต้านทานของ โพลีซิลิไซด์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการแอนนัล.....	67
5.4.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาโครงสร้างและความต้านทานของ โพลีซิลิไซด์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการแอนนัล.....	67
5.4.2 ผลการวัดความต้านทานเชิงแผ่นด้วยเครื่องโพรม็อทโทรม.....	68
5.5 ศึกษาความต้านทานของ โพลีซิลิไซด์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการเพิ่มขึ้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	70
5.5.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาความต้านทานของ โพลีซิลิไซด์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการเพิ่มขึ้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	71
5.5.2 ผลการวัดความต้านทานเชิงแผ่นด้วยเครื่องโพรม็อทโทรม ที่เงื่อนไขเพิ่มขึ้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	71
5.6 ศึกษาความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างผิวโพลีซิลิไซด์ที่ได้รับการเจือสาร กับ โลหะ.....	72
5.6.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการศึกษาความต้านทานรอยสัมผัสระหว่าง ผิวโพลีซิลิคอนที่ได้รับการเจือสาร กับ โลหะ	73
5.6.2 ผลการทดลองศึกษาความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างผิวโพลีซิลิคอน ที่ได้รับการเจือสาร กับ โลหะ	75
5.7 ศึกษาหาค่า ที่ชีอาร์ ของโพลีซิลิไซด์.....	77
5.7.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับศึกษาหาค่า ที่ชีอาร์ ของโพลีซิลิไซด์.....	77
5.7.2 ผลการวัดค่า ที่ชีอาร์	79
5.8 การทดสอบนำโพลีซิลิไซด์ไปใช้ในกระบวนการสร้างเซ็นเซอร์ ตรวจจับความดัน.....	81
5.8.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานเปียโซรีซีฟทิบ หรือโพลีซิลิไซด์ กับการเปลี่ยนแปลงความดัน.....	82

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.8.1.1 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทาน เปียโซรีซีฟทิป หรือโพลารีซีสเตอร์ กับการเปลี่ยนแปลงความดัน.....	82
5.8.1.2 ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานเปีย โซรีซีฟทิป หรือโพลารีซีสเตอร์ กับการเปลี่ยนแปลงความดัน.....	83
5.8.2 การศึกษาหาค่าความไวของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	84
5.8.2.1 การทดลองศึกษาหาค่าความไวของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	84
5.8.2.2 ผลการทดลองศึกษาหาค่าความไวของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	85
5.8.3 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานเปียโซรีซีฟทิป กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	86
บทที่ 6 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	87
6.1 การวิเคราะห์ผลการศึกษาโครงสร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ก่อนและหลัง กระบวนการยิงฟิงเจอร์.....	87
6.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความต้านทานของโพลารีซีสเตอร์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเจือในการยิงฟิงเจอร์.....	89
6.3 การวิเคราะห์การศึกษาโครงสร้างและความต้านทานของ โพลารีซีสเตอร์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการแอนนัล	91
6.4 การวิเคราะห์การศึกษาความต้านทานของ โพลารีซีสเตอร์ที่สร้างจาก ฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการเพิ่มชั้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	91
6.5 การวิเคราะห์การศึกษาค่า ทิศอาร์	92
บทที่ 7 สรุป.....	93

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก ก. ค่าคงที่ทางฟิสิกส์.....	99
ภาคผนวก ข. ตารางมาตรฐานการวัดเครื่องอิลลิปโซมิเตอร์.....	100
ภาคผนวก ค. ผลการวัด a-Si จากเครื่อง XRD.....	101
ภาคผนวก ง. ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณสารเจือกับความหนาแน่นอะตอมสารเจือ กับพลังงานการยิงฝังประจุ.....	102
ภาคผนวก จ. ตารางความถี่ในการยิงฝังประจุ.....	103
ภาคผนวก ฉ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	141

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อัตราการเติบโตของตลาดโลกของเซ็นเซอร์ที่สร้างมาจากซิลิคอนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ จาก Sullivan (1993).....	1
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มโพลีซิลิคอนกับสารชนิดอื่นๆ.....	8
5.1 เงื่อนไขการทำความสะอาดแผ่นเวเฟอร์.....	56
5.2 เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการปรับอัตราการจ่ายก๊าซ SiH_4 ด้วย LPCVD.....	56
5.3 เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม Poly-Si และ a-Si โดยการปรับความดัน ด้วย LPCVD.....	58
5.4 เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ด้วย LPCVD ในงานวิจัยนี้.....	60
5.5 ผลการวัดคุณสมบัติของฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ด้วยเครื่องอิลลิปโซมิเตอร์.....	60
5.6 ผลการทดลองการวัดความต้านทานเชิงแผ่นของฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ด้วยเครื่องโพรมอยท์โพรบก่อนและหลังกระบวนการยิงฝังประจุ.....	62
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างผิวโพลีซิลิคอนที่ได้รับการเจือสาร กับโลหะกับความต้านทานเชิงแผ่น.....	75
5.8 ค่าความต้านทานของ โพลีซิลิคอน ที่อุณหภูมิ 25-99 องศาเซลเซียส.....	80

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 อุปกรณ์ตรวจจับความดันชนิด เปียโซรีซีฟทิปแบบบนเชิงผิว (surface).....	2
2.1 (ก) โครงสร้างโพลีซิลิคอน และ (ข) โครงสร้างผลึกซิลิคอน.....	6
2.2 ผิวหน้าของโครงสร้างโพลีซิลิคอน.....	7
2.3 วัดคุณสมบัติฐานระดับอะตอม.....	7
2.4 โครงสร้างเครื่อง LPCVD แบบเตาความร้อนในแนวนอน.....	9
2.5 เครื่อง LPCVD แบบเตาความร้อนในแนวนอน ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์	10
2.6 โครงสร้างในการคำนวณหาความต้านทานเชิงแผ่น.....	11
2.7 การแพร่ออกด้านข้างของตัวต้านทานชนิดแพร่สารเจือ.....	13
2.8 โครงสร้างตัวต้านทานชนิดพินซ์.....	14
2.9 ชั้นอีพิตอกซ์เซียลบนแผ่นซิลิคอนฐานรอง.....	14
2.10 โครงสร้างของเครื่องยิงฝัประจุ.....	17
2.11 โครงสร้างของแหล่งกำเนิดประจุชนิดเบอร์นาส.....	17
2.12 เครื่องยิงฝัประจุรุ่น NH-20SR ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์.....	18
2.13 โครงสร้างของ เตาแบบแนวนอน.....	19
2.14 เตาแอนนูลแบบแนวนอน ที่ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์.....	20
2.15 (ก) อุปกรณ์ตรวจจับความดันชนิดเปียโซรีซีฟทิปขนาดจี้วแบบบัลก์	
(ข) อุปกรณ์ตรวจจับความดันชนิดเปียโซรีซีฟทิปขนาดจี้วแบบเชิงผิว.....	21
2.16 ทิศทางของแรงที่มากระทำกับวัสดุที่ประกอบด้วย	
(ก) แรงดึงตามยาว (ข) แรงดึงตามขวาง.....	24
2.17 การกระจายค่าความเค้นไคเมนชันเลสใน 1 ควอเตอร์ที่บริเวณต่างๆ กับบน	
ไดอะแฟรมรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	25
2.18 ตัวต้านทาน 4 ตัวบนไดอะแฟรม.....	26
2.19 วงจรวิทสโตนบริดจ์.....	29
2.20 โครงสร้าง CBK.....	31
3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM.....	35
3.2 เครื่อง SEM รุ่น S-4700.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การทำงานของ อิลลิปโซมิเตอร์.....	37
3.4 เครื่องอิลลิปโซมิเตอร์ รุ่น Rudolph FEIII.....	38
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวิธีโพร์พอยท์โพรบ.....	40
3.6 เครื่องโพร์พอยท์โพรบรุ่น Prometrix Rs-30.....	42
3.7 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์วัดแรงดัน.....	43
4.1 โครงสร้างภาพตัดขวางของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน.....	44
4.2 ภาพโครงสร้างด้านบนของฟิล์มโพลีซิลิคอนไดอะแฟรมและโพลีรีซิสเตอร์.....	45
4.3 ขนาดโครงสร้างโพลีรีซิสเตอร์.....	46
4.4 ลักษณะต้นแบบตัวตรวจจับความดันในงานวิจัยนี้.....	47
4.5 (ก)- (ข) ลำดับกระบวนการสร้างตัวตรวจจับความดันแบบเปีย โซริซีฟทิป.....	48-49
4.6 (ก)- (จ) ลำดับกระบวนการสร้างโพลีรีซิสเตอร์.....	50
4.7 โครงสร้างมาสก์ (CBK).....	51
4.8 (ก)- (ด) ลำดับกระบวนการสร้างโครงสร้าง CBK.....	51-52
4.9 โครงสร้างสำหรับวัด ที่ซีอาร์ ของโพลีรีซิสเตอร์.....	53
4.10 (ก)- (ด) ลำดับกระบวนการสร้างโครงสร้าง สำหรับวัด ที่ซีอาร์ ของโพลีรีซิสเตอร์.....	53-54
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์ม a-Si กับ อัตราการจ่ายก๊าซ SiH_4 และ Uniformity	56
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์ม Poly-Si กับ อัตราการจ่ายก๊าซ SiH_4 และ Uniformity.....	57
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์ม a-Si กับ ความดัน และ Uniformity	58
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบฟิล์ม Poly-Si กับ ความดัน และ Uniformity.....	59
5.5 (ก) รูปผิวหน้าฟิล์มของ a-Si (ข) รูปผิวหน้าฟิล์ม poly-Si.....	61
5.6 (ก) รูปผิวหน้าฟิล์มของ a-Si หลังการยิงฝัประจุ และ แอนนีสล	
ข) รูปผิวหน้าฟิล์มของ poly-Si หลังการยิงฝัประจุ และ แอนนีสล.....	64
5.7 ขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 5.3.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานเชิงแผ่นกับปริมาณสารเจือของฟิล์ม a-Si กับ Poly-Si.....	66
5.9 ขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 5.4.....	68
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานเชิงแผ่นกับปริมาณสารเจือ ของฟิล์ม a- Si กับ Poly-Si ที่มีการปรับเงื่อนไขการจ่ายก๊าซในการแอนนัล.....	69
5.11 ขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 5.5.....	70
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานเชิงแผ่นกับปริมาณสารเจือ ของฟิล์ม a- Si กับ Poly-Si โดยการเพิ่มขึ้นซิลิคอนไดออกไซด์.....	71
5.13 มาตรฐานของ CBK ที่เขียนโดยโปรแกรม L-edit	
(ก) มาตรฐานสำหรับโพลิซิลิไซด์เตอร์ (ข) มาตรฐานสำหรับกัดเปิดช่อง.....	73
(ค) มาตรฐานสำหรับขั้วโลหะ (ง) โครงสร้างมาตรฐาน (CBK) เมื่อเสร็จสมบูรณ์.....	73
5.14 ชิ้นงานที่สร้างเป็นโครงสร้าง CBK	74
5.15 โครงสร้าง CBK.....	75
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานเชิงแผ่น กับ Re.....	77
5.17 มาตรฐานของวัดความต้านทานโพลิซิลิไซด์เตอร์ ที่เขียนโดยโปรแกรม L-edit	
(ก) มาตรฐานสำหรับโพลิซิลิไซด์เตอร์ (ข) มาตรฐานสำหรับกัดเปิดช่อง	
(ค) มาตรฐานสำหรับขั้วโลหะ (ง) โครงสร้างมาตรฐาน ในการวัดความต้านทานโพลิซิลิไซด์เตอร์ เมื่อเสร็จสมบูรณ์.....	78
5.18 ลวดลายสำหรับวัดความต้านทานโพลิซิลิไซด์เตอร์ หลังการเตรียมขึ้น.....	79
5.19 ความสัมพันธ์ค่าปริมาณสารเจือกับ TCR ของ ฟิล์ม Poly Si และ a-Si.....	80
5.20 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันที่สร้างในงานวิจัยนี้.....	82
5.21 (ก) ชุดแท่นจับ (ข) ถังอัดความดัน.....	83
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure กับ Resistance.....	84
5.23 วงจรวัดสโตนบริดจ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	85
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดัน-แรงดันไฟฟ้า.....	85
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานเปียกซีฟฟิฟกับอุณหภูมิ.....	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.1 โครงสร้างอย่างง่ายที่ต่อเป็นอนุกรมของโพลิรีซีสเตอร์.....	89
6.2 โครงสร้างของแถบพลังงานที่ขอบเขตเกรน (ก) ปริมาณสารเจือมาก (ข) ปริมาณสารเจือน้อย.....	91

รายการคำย่อ

อักษรย่อ	คำเต็มภาษาอังกฤษ	คำแปลภาษาไทย
SEM	Scanning Electron Microscopy	จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
Si	Silicon	ซิลิคอน
Poly-Si	Poly Silicon	โพลีซิลิคอน
a-Si	amorphous Silicon	อมอร์ฟัสซิลิคอน
R_c	Contact Resistance	ความต้านทานรอยสัมผัส
TCR	Temperature Coefficient Resistivity	สัมประสิทธิ์ความต้านทานของอุณหภูมิ
SiH_4	Silane	ก๊าซซิลเลน

รายการสัญลักษณ์

H_2	คือ ก๊าซไฮโดรเจน
ρ	คือ สภาพความต้านทาน
R_s	คือ ความต้านเชิงแผ่น
x_j	คือ ความลึกที่ได้จากการแพร่สารของตัวต้านทานชนิดแพร่สารเจือ
π_l	คือ สัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟที่ปตามยาว
π_t	คือ สัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟที่ปตามขวาง
σ_l	คือ ความเค้นตามยาว (Longitudinal Stress)
σ_t	คือ ความเค้นตามขวาง (Transverse Stress)
$\langle \pi_l \rangle$	คือ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟที่ปตามยาว
$\langle \pi_t \rangle$	คือ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟที่ปตามขวาง
$\langle Y \rangle$	คือ ยังโมดูลัสเฉลี่ยของฟิล์มโพลีซิลิคอน
GF_l	คือ เกจแฟกเตอร์ตามยาว (Longitudinal Gage Factor)
GF_t	คือ เกจแฟกเตอร์ตามขวาง
J	คือ ความหนาแน่นกระแส
ε_l	คือ ความเครียด
S	คือ ความไวของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน
R_c	คือ ความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างเนื้อสารกับโลหะ
V_H	คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ระดับสูง
V_L	คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ระดับต่ำ
I_{in}	คือ กระแสไฟฟ้าที่เป็นแหล่งจ่าย
R_1	คือ ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง
R_2	คือ ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆ
T_1	คือ อุณหภูมิห้อง
T_2	คือ อุณหภูมิต่างๆ
q	คือ 1.6×10^{-19} คูโลมปี
k	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
n	คือ ค่าดัชนีหักเหแสง
δ	คือ ความหนาของขอบเกรน

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

μ_n	คือ สภาพคล่องของอิเล็กตรอน
μ_p	คือ สภาพคล่องของโฮล
ϕ_m	คือ ฟังก์ชันงาน (Work function) ของ โลหะ
χ_s	คือ อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี้ (electron affinity)
ϕ_b	คือ กำแพงศักย์ที่ผิว(surface potential barrier)
m_e	คือ มวลสัมประสิทธิ์ผล(effective mass)
N_A	คือ ความเข้มข้นสารเจือชนิด Acceptor
h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Plank contant)
$\mathcal{E}_{si}$	คือ เปรอร์มิติวิตีในซิลิคอน
$\mathcal{E}_0$	คือ เปรอร์มิติวิตีในสุญญากาศ
ρ_m	คือ ความหนาแน่นสาร
T_{mp}	คือ จุดหลอมเหลว
T_{bp}	คือ จุดเดือด
E_c	คือ ระดับพลังงานต่ำสุด (ขอบล่าง) ของแถบนำไฟฟ้า
E_F^m	คือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของโลหะ
E_F^s	คือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ
E_v	คือ ระดับพลังงานขอบบนของแถบเวเลนซ์