

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

อุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาคตัวแรกได้สร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ 1950[1] ปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาคที่ทำจากซิลิคอนได้นำมาใช้อย่างกว้างขวางในเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมรถยนต์ในตารางที่ 1.1 แสดงถึงอัตราการเติบโตของตลาดโลกของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน ที่สร้างมาจากซิลิคอนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์[1] ตั้งแต่ปี 1989 ถึง 1999 โดยส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาคและ อุปกรณ์ตรวจจับความเร่งขนาดจุลภาค (micro accelerometer) ซึ่งจะเห็นว่ามีอัตราการเติบโตขึ้นทุกปี

ตารางที่ 1.1 อัตราการเติบโตของตลาดโลกของเซ็นเซอร์ที่สร้างมาจากซิลิคอนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ จาก Sullivan (1993)

Year	Revenue ^a (MEuro)	Growth-rate (%)	Year	Revenue ^a (MEuro)	Growth-rate (%)
1989	175	-	1995	376	21
1990	283	62	1996	463	23
1991	323	14	1997	564	22
1992	321	-1	1998	679	20
1993	285	-11	1999	804.2	18
1994	312	10			

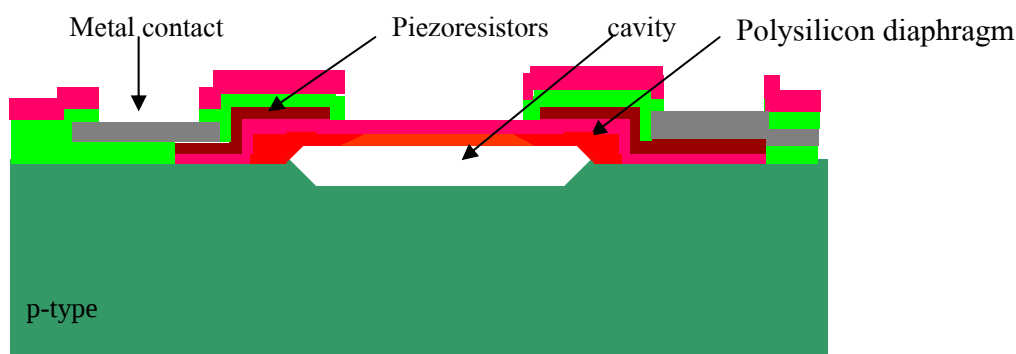
^A 1 euro = \$1.1 สำหรับ เดือน กันยายน 2000

นอกจากอุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาคได้ถูกนำมาใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมทางการแพทย์ และอื่นๆ โดยมีการพัฒนาขนาดของอุปกรณ์ตรวจจับความดันให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยมาตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในปัจจุบันความต้องการใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับความดันไปตรวจจับความดันในบริเวณที่มีขนาดจุลภาคที่มีขนาดเล็กลงมีจำนวนเพิ่มขึ้น เช่น ความต้องการวัดความดันเส้นเลือดขณะผ่าตัดหัวใจซึ่งจำเป็นต้องใช้

อุปกรณ์ตรวจจับความดันที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของเส้นเลือด ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับความดันนี้จะต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.36 mm. นอกจากนี้ยังมีความต้องการอุปกรณ์ตรวจจับความดันนำไปใช้วัดเสียงซึ่งมีความสัมพันธ์กับความดันเสียงเพื่อใช้เป็นไมโครโฟนขนาดเล็ก เป็นต้น และการสร้างความต้านทานเพียโซรีซิสทีฟที่ป สร้างจากใช้ฟิล์มโพลีซิลิคอนแทนซิลิคอนผลึกรูปเดี่ยว (single crystal silicon) เพราะว่าง่ายในการสร้างเพียงใช้เทคนิค LPCVD ซึ่งใช้เวลาผลิตอันสั้นและมีต้นทุนที่ถูกกว่า จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาคที่มีขนาดเล็กมากเช่น ขนาด 100 x 100 ไมครอน ทำให้ต้องสร้างบริเวณเพียโซรีซิสทีฟหรือโพลีรีซิสเตอร์ที่มีขนาดในระดับไมครอน เช่น 10 ไมครอน ทำให้พบปัญหาค่าความต้านทานที่มีค่าค่อนข้างสูงในบริเวณ เพียโซรีซิสทีฟหรือ โพลีรีซิสเตอร์จะทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างคือ

1. ทำให้ค่าความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างโลหะกับโพลีซิลิคอน (contact resistant) มีค่าสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาคือ ทำให้รอยสัมผัสระหว่างโลหะกับโพลีซิลิคอนเกิดความร้อนสูงขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แล้วนำไปสู่อายุการใช้งานน้อยลงของอุปกรณ์ตรวจจับความดัน[2] นอกจากนี้ยังจำกัดการนำกระแสไฟฟ้าให้ลดลง

2. ค่าความต้านทานที่สูงนี้จะทำให้ ค่า TCR (Temperature Coefficient Resistivity) มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานจะลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติในทางสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะทำให้มีคุณสมบัติคล้ายกับ พฤติกรรมช็อตตี้ (Schottky barrier) เป็นเหตุให้เมื่อนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความดันจะไม่สามารถควบคุมให้เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในลักษณะเชิงเส้นได้[1] เมื่อนำไปสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดัน ค่าความต้านทานเพียโซรีซิสทีฟที่ปรีซิสเตอร์หรือโพลีรีซิสเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิแบบพฤติกรรมช็อตตี้ ทำให้ไม่ทราบว่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิหรือความดัน [1]



รูปที่ 1.1 อุปกรณ์ตรวจจับความดันชนิด เพียโซรีซิสทีฟแบบเชิงผิว (surface)

ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยเทคนิคการลดค่าความต้านทานเพื่อให้ค่า TCR มีค่าเป็นบวกซึ่งหมายถึงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวนำโดยความสัมพันธ์การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานกับอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเชิงเส้น ทำให้สามารถกำหนดค่าเพื่อนำไปใช้งานได้

3. เนื่องจากโครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดันแบบเชิงผิว (surface) ดังรูปที่ 1 มีช่องว่าง (cavity) และไดอะแฟรม (diaphragm) เป็นตัวจำกัดอุณหภูมิในการแอนนัลหลังการเชื่อมไม่เกิน 800 องศาเซลเซียสในสร้างตัวต้านทานเปียโซรีซิสทีฟหรือโพลารีซิสเตอร์ เพราะการใช้อุณหภูมิที่มากกว่า 800 องศาเซลเซียส มีโอกาสจะทำให้ตัวไดอะแฟรมแตกได้ ทำให้ต้องใช้ปริมาณสารเจือที่สูงมากในการลดค่าความต้านทาน ซึ่งทำให้ต้องเสียเวลาในการสร้างและใช้วัตถุดิบในการผลิตมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับความดันชนิดเปียโซรีซิสทีฟ ที่มีโครงสร้างแบบไดอะแฟรม ที่มีขนาดเล็กมีขนาดเท่ากับ 100 x 100 ไมครอน โดยมุ่งพัฒนาปรับลดค่าความต้านทานของตัวต้านทานเปียโซหรือตัวต้านทานโพลารีซิสเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานภายในเนื้อฟิล์มมีค่าต่ำลง ทำให้ได้ความต้านทานระหว่างโลหะกับโพลียซิลิคอนมีค่าลดลงและทำให้ค่า TCR มีค่าเป็นบวก นอกจากนี้ยังทำการลดปริมาณสารเจือในการสร้างเพื่อลดเวลาในการผลิตและลดวัตถุดิบในการผลิต

ในการพัฒนาปรับลดค่าความต้านทานของตัวต้านทานเปียโซหรือตัวต้านทานโพลารีซิสเตอร์ในการวิจัยนี้ จะทำการวิจัยศึกษาผลของฟิล์มที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน คือ อมอร์ฟัสซิลิคอน กับโพลียซิลิคอนเมื่อนำไปทำเป็นตัวต้านทานโพลารีซิสเตอร์ว่าจะมีผลต่อความต้านทานอย่างไร นอกจากนี้การปรับค่าสารเจือในกระบวนการยิงฝังประจุ การเพิ่มขึ้นฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์และปรับเปลี่ยนชนิดก๊าซออกซิเจนในการแอนนัล ในการสร้างจะมีผลต่อความต้านทานหรือไม่ ซึ่งจะทำให้การพิสูจน์ในงานวิจัยนี้

1.3 การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการใช้เทคนิคลดค่าความต้านทานเปียโซหรือโพลารีซิสเตอร์ด้วยทั้งหมด 4 แบบ ดังนี้

1. ทำการเปลี่ยนกระบวนการสร้างโพลารีซิสเตอร์ ซึ่งสร้างจากฟิล์มบางโพลียซิลิคอนมาเป็นอมอร์ฟัสซิลิคอน

2. ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณสารเจือในการยิงฝังประจุ โดยมีค่าปริมาณสารเจือดังนี้ 1.0×10^{-16} , 1.3×10^{-16} , 1.6×10^{-16} และ 2×10^{-16} ไอออนต่อตารางเซนติเมตร
3. ปรับเงื่อนไขของการแอนนัล โดยการเพิ่มก๊าซออกซิเจน
4. สร้างฉนวนซิลิคอนไดออกไซด์ก่อนการยิงฝังประจุ

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้มี 3 ประการ ดังนี้

1. ปรับลดค่าความต้านทานของตัวต้านทานเปียโซ ทำให้ค่า TCR มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายถึงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวนำโดยความสัมพันธ์การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานกับอุณหภูมิจะเป็นลักษณะเชิงเส้น ทำให้สามารถกำหนดค่าเพื่อนำไปใช้งานได้
2. ปรับลดค่าความต้านทานของตัวต้านทานเปียโซเป็นเหตุให้ความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างโลหะกับโพลีซิลิคอน (contact resistance) [2, 3] ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความดันดีขึ้น
3. การปรับลดค่าความต้านทานโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนคุณสมบัติของฟิล์มจากโพลีซิลิคอนไปเป็นอมอร์ฟัสซิลิคอน จะได้ค่าความต้านทานลดลงทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตจากการลดปริมาณสารเจือในการยิงฝังประจุทำให้ใช้เวลาในการเจือสารลดลง

1.5 รายละเอียดเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัยของอุปกรณ์ตรวจจับความดันขนาดจุลภาค โดยเริ่มสร้างราวปี ค.ศ 1950 จนถึงปัจจุบันซึ่งได้นำมาทำเป็นเชิงพาณิชย์มากมายและได้มีการพัฒนาลดขนาดลงเป็นระดับไมครอน ซึ่งได้กล่าวถึงปัญหาที่ตามมาคือความต้านทานภายในตัวตรวจจับความดันมีค่าสูงขึ้นเมื่อทำการลดขนาดตัวตรวจจับความดันลง การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการลดค่าความต้านทานตัวตรวจจับความดัน หลังจากนั้นได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย การดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย รวมถึงรายละเอียดของเนื้อหาเพื่อให้ผู้อ่านได้ทราบถึงขอบเขตของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

บทที่ 2 บทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ได้กล่าวถึงฟิล์มโพลีซิลิคอนและฟิล์มอมอร์ฟัสซิลิคอน ตัวต้านทานที่สร้างในวงจรรวมและเซ็นเซอร์ กระบวนการยิงฝังประจุและอุปกรณ์

ตรวจจับความดันขนาดจุลภาค วงจรวิสโตมบริดจ์ เทคนิควัด R_c ด้วยโครงสร้าง CBK และ ทีซีอาร์ (TCR)

บทที่ 3 ได้กล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และการวัดโดยเริ่มจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติฟิล์มโพลีซิลิคอนและอมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องมือวัดความหนาอลิปปโซมิเตอร์ หลังจากนั้นกล่าวถึงเครื่องมือวัดคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของโพลีซิลิคอน โดยใช้เครื่องโพรมอยท์โพรบและสุดท้ายได้กล่าวถึงชุดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและทดสอบความดันในงานวิจัยนี้

บทที่ 4 ได้กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับความดันที่ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ โดยทำการออกแบบไดอะแฟรมฟิล์มโพลีซิลิคอน ออกแบบตัวต้านทานเพียโซรีซิสทีฟและออกแบบตัวตรวจจับความดันแบบเพียโซรีซิสทีฟและสุดท้ายได้กล่าวถึงลำดับการสร้าง

บทที่ 5 ได้กล่าวถึงผลการทดลองโดยเริ่มจากการเตรียมชั้นงาน Poly-Si และ a-Si โดยทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างฟิล์ม หลังจากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติฟิล์ม หลังยิงฝังประจุที่เงื่อนไขการปรับปริมาณสารเจือที่ค่าต่างๆ หลังจากนั้นนำไปศึกษาศึกษาคุณสมบัติฟิล์มหลังยิงฝังประจุที่เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงการแอนนัลและ ที่เงื่อนไขการเพิ่มชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ หลังจากนั้นทำการศึกษาความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างผิวโพลีซิลิคอนที่ได้รับการเชื่อมต่อกับโลหะ ที่โครงสร้าง CBK และทำการวัดค่า ทีซีอาร์ ของโพลีซิลิคอนและสุดท้ายทำการนำฟิล์มโพลีซิลิคอนที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองไปใช้ในเซ็นเซอร์ตรวจจับความดัน

บทที่ 6 ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาโครงสร้างจากฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ก่อนและหลังกระบวนการยิงฝังประจุ การวิเคราะห์ผลการศึกษาความต้านทานของโพลีซิลิคอนที่สร้างจากฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารเจือในการยิงฝังประจุ การวิเคราะห์โครงสร้างและความต้านทานของโพลีซิลิคอนที่สร้างจากฟิล์ม Poly-Si และ a-Si ที่เงื่อนไขการเปลี่ยนเงื่อนไขการแอนนัลและที่เงื่อนไขการเพิ่มชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาความต้านทานรอยสัมผัสระหว่างผิวโพลีซิลิคอนที่ได้รับการเชื่อมต่อกับโลหะและสุดท้ายทำการวิเคราะห์การศึกษาหาค่าทีซีอาร์

บทที่ 7 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะของงานที่ทำทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้จากการสรุปและข้อเสนอแนะทั้งหลายเหล่านี้ จะเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและพัฒนารูปแบบอุปกรณ์ตรวจจับความดันต่อไป