บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

7.1 ข้อสรุปจากการทดลอง

7.1.1 แว่นผลึกที่ใช้ในการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง

ได้ใช้แว่นผลึกซนิคพีที่มีความเข้มข้นประมาณ 10^{15} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งเป็นแว่นผลึกที่ใช้ทำเซลแสงอาทิตย์มาเป็นแว่นผลึกเริ่มต้นในการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง ดังนั้นจึงต้องทำการ polish ด้วย HNO_3 (100 %) : CH_3COOH (99.71 %) : HF (50 %) : H_2O ในอัตราส่วน 21 : 14 : 3 : 4 โดยปริมาตร หลังจากทำการ polish แว่นผลึกจะมีความหนาลดลงจาก 230 ไมโครเมตร เหลือเป็น 220 ไมโครเมตร

7.1.2 กระบวนการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง

หลังจากที่ได้ทำการ polish แว่นผลึกแล้วได้นำแว่นผลึกมาทำความสะอาดด้วยน้ำ (DI) อีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสารเคมีตกค้าง จากนั้นจึงได้ทำการปลูกซิลิกอนไดออกไซด์ทั้งแบบเปียกและแบบแห้งจนได้ความหนาประมาณ 5500 อังสตรอม และได้ทำการเปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ออกเป็นรูวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร เพื่อให้สารแพร่ซึมฟอสฟอรัสได้แพร่ซึมเข้าไปในเนื้อแว่นผลึกซิลิกอนจนได้ความลึกประมาณ 3.5 ไมโครเมตร ซึ่งหลังจากขึนตอน drive-in จะได้ความหนาของซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณ 5000 อังสตรอม (บริเวณ 1 ในรูปที่ 4.4) ได้สีน้ำเงินเขียวและความหนาของซิลิกอนไดออกไซด์บริเวณ 2 ในรูปที่ 4.4 ประมาณ 7700 อังสตรอม ได้สีค่อนข้างเหลือง (yellowish) ซึ่งความหนานี้ทำให้ง่ายต่อการเปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ที่ความหนา 5000 อังสตรอม เพื่อเตรียมการฉาบอลูมิเนียมในการทำขั้วต่อแบบโอห์มมิคให้ตรงกับศูนย์กลางของรูเดิมที่ได้เปิดช่องไว้ก่อนแล้วในขั้นตอนแพร่ซึมสาร เจือปนความหนาของอลูมิเนียมที่ใช้ทำขั้วต่อแบบโอห์มมิคประมาณ 5500 อังสตรอมและannealingที่550องศาเซลเซียส จากนั้นจึงได้ฉาบนิเกิลทับลงไปอีกที (เพื่อทำให้สามารถบัดกรีด้วยตะกั่วได้) และทำการอบไล่ความชื้น ออกที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ขั้วต่อทนแรงดึงตั้งฉากประมาณ 78 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร

7.1.3 การวัดและทดสอบทางไฟฟ้า

จากการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดที่ประดิษฐ์ขึ้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มิลลิเมตร ปรากฏว่าไดโอด (B_5) มีแรงดันพังทะลุ 100 โวลท์ กระแสตาม 3 แอมแปร์ ที่แรงดันตาม 1.4 โวลท์ อุณหภูมิหัวต่อ 107 องศาเซลเซียส กระแสอิ่มตัวย้อนกลับที่แรงดัน - 80 โวลท์ อุณหภูมิหัวต่อ 27.2 และ 107 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 1.5 และ 6 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ เวลาการฟื้นตัวย้อนกลับ (t_{rr}) มีกระแสตาม 78 มิลลิแอมแปร์ และกระแสย้อน 50 มิลลิแอมแปร์ มีค่าประมาณ 1.3 ไมโครวินาที

7.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง ได้ใช้แว่นผลึกชนิดพีหนาประมาณ 220 ไมโครเมตร มีความต้านทานจำเพาะประมาณ 10 โอห์ม - เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้น ทำการปลูกซิลิกอนไดออกไซด์ให้ได้หนาประมาณ 5500 อังสตรอม และทำการแพร่สารเจือปนฟอสฟอรัสนาน 30 นาที ได้ความลึกประมาณ 0.3 ไมโครเมตร พื้นที่การแพร่ซึมเท่ากับ 2.5 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นได้แบ่งแว่นผลึกออกเป็น 3 ชุด ชุดละ 2 ชิ้น โดยชุดแรกไม่มีการทำขั้นตอน drive-in ส่วนชุดที่ 2 และ 3 ทำขั้นตอน drive-in ด้วยเวลา $1\frac{1}{2}$ และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อนำแว่นผลึกไปฉาบอลูมิเนียมและนิเกิลแล้ว จากนั้นจึงทำการกัดแว่นผลึกจะได้ไดโอด (ดาย) เมื่อนำไดโอด (ดาย) ที่ได้ไปทำการทดสอบหาแรงดันพังทะลุ ผลปรากฏว่า ไดโอดที่ไม่ได้ผ่านขั้นตอน drive-in และที่ผ่านขั้นตอน drive-in ที่ $1\frac{1}{2}$ และ 4 ชั่วโมง จะให้แรงดันพังทะลายประมาณ 30, 50 และ 100 โวลท์ ตามลำดับ และในแว่นผลึกแผ่นหนึ่งๆ สามารถที่จะทำไดโอด (ดาย) ได้ประมาณ 160 ตัว แบ่งเป็นส่วนที่เสียประมาณ 100 ตัว (ไดโอดบริเวณขอบแว่นผลึกและกระแสอิ่มตัวย้อนกลับสูง) เป็นส่วนที่สามารถนำมาทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าได้ประมาณ 60 ตัว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไดโอดบริเวณกลางแว่นผลึก

ผลการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ไดโอด B_1, B_2, B_3, B_4 และ B_5 ซึ่งได้จากการประดิษฐ์ไดโอดในกระบวนการแพร่ซึมและ drive-in แทน 30 นาทีและ 4 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งได้ใช้ไดโอด (ดาย) บริเวณส่วนกลางๆ ของแว่นผลึก และได้ผ่านการทดสอบวัดกระแสอิ่มตัวย้อนกลับมีค่าน้อยๆ (ทดสอบด้วย curve tracer) แล้ว

จากการวัดและทดสอบไดโอดที่ประดิษฐ์ขึ้น พบจุดบกพร่องและต้องแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้ได้ผลผลิตทัดเทียมกับไดโอดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดดังนี้

7.2.1 ได้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับสูง ต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น พื้นที่การแพร่ซึมน้ำ DI และ เลือกแว่นผลึกที่มีจุดบกพร่องน้อยๆ เป็นต้น

7.2.2 แรงดันพังทะลุยังต่ำ ต้องทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่นการทำ mesa เลือกแว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะสูงๆ เลือกใช้แว่นผลึกแบบอิพิทักเชียล เป็นต้น

7.3 <u>เสนอแนะ</u>

7.3.1 แว่นผลึกซิลิกอนที่ใช้ควรเป็นแว่นผลึกที่ polishing แล้ว โดยมีความเข้มข้นของพาหะชั้นอีพิทักเชียลต่ำประมาณ 500 โอห์ม-เซนติเมตร หรือต่ำกว่า 10^{13} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและจะต้องมีจุดบกพร่องในแว่นผลึกน้อยอีกด้วย

7.3.2 น้ำ DI ที่ใช้ทำการปลูกซิลิกอนไดออกไซด์ และใช้ล้างแว่นผลึกซิลิกอนควรมีค่าความต้านทานจำเพาะสูงกว่า 10 เมกกาโอห์ม-เซนติเมตร

7.3.3 การนำเอาแว่นผลึกเข้าและออกจากเตาความร้อนควรเป็นไปอย่างช้าๆ ในอัตรา 10 เซนติเมตร / นาที หรือจะทำเป็นแบบขั้นๆ ก็ได้เพื่อลด Thermal shock

7.3.4 แผ่น mask ที่ใช้สำหรับเปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ควรจะคมชัด

7.3.5 ไดโอดกำลังที่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 5แอมแปร์ควรลดขั้นตอนการใช้อลูมิเนียมกับนิเกิ้ล และหันมาใช้ตะกั่วแผ่น (lead foil) แทน เพื่อลดต้นทุนและขั้นตอนการประดิษฐ์ให้ต่ำลง

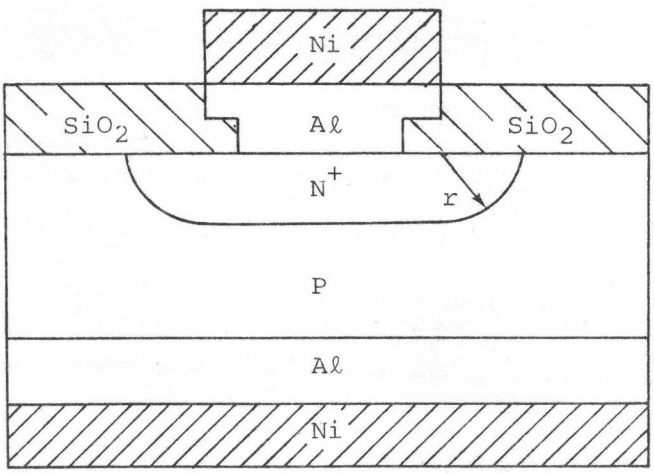
7.3.6 ควรมีฉนวนห่อหุ้มไดโอดหลังจากที่ได้ทำการบัดกรีต่อสายแล้ว และฉนวนนี้ต้องมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง แต่ค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำ เช่น ใช้เซรามิค

7.3.7 ควรมีแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสเพื่อ สามารถทำการทดสอบให้เป็นไปตามพิกัดของไดโอดที่ได้ออกแบบไว้ โดยแหล่งจ่ายเหล่านี้จะต้องสามารถปรับค่าได้ด้วย

7.3.8 การทำขั้วต่อที่ดีและแข็งแรงสามารถ เลือกใช้ได้ดังตารางที่ 6.1 ทั้งนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าโลหะ เหล่านั้น เมื่อผสมกับซิลิกอนจะแสดงผล เป็นสารชนิด เอ็น หรือสารชนิดพีด้วย เช่น อลูมิ เนียม เมื่อผสมกับซิลิกอนจะแสดงตัว เป็นสารชนิดพี

7.3.9 ไดโอดที่มีขนาดตั้งแต่ 5 แอมแปร์ขึ้นไปจะต้องพิจารณาถึงความหนาของชั้นอิพิทักเชียล ความหนาของแว่นผลึก ความหนาของโลหะที่นำมาทำขั้วต่อแบบโอห์มมิค และชนิดโลหะที่จะมาห่อหุ้ม เพื่อให้ความร้อนสามารถระบายออกจากหัวต่อได้ดีที่สุด

7.3.10 ในรูปที่ 4.3 เป็นแบบสำหรับ เปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อ เตรียมการฉาบอลูมิ เนียมซึ่ง เป็นหน้ากากของทรานซิ เตอร์ของห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์-สารกึ่งตัวนำ ทำให้ขั้วต่อโอห์มมิคในรูปที่ 5.1 มีพื้นที่น้อยลง เป็น เหตุให้มีพื้นที่นำกระแสและแรงยึดของหัวต่อโอห์มมิคลดลง ดังนั้นควรใช้หน้ากากที่ใช้เปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อ เตรียมการฉาบอลูมิ เนียม เป็นรูปวงกลม เต็มมิใช่วงแหวน เพื่อให้ได้พื้นที่นำกระแสและแรงยึดของขั้วต่อโอห์มมิคมากขึ้น



รูปที่ 7.1 แสดงโครงสร้างไดโอดกำลังที่ เสนอแนะ เพื่อ เพิ่มพื้นที่หัวต่อโอห์มมิค โดยใช้หน้ากากที่ เปิดช่องซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นรูปวงกลม เต็ม เมื่อเปรียบ เทียบกับโครงสร้างในรูป 5.1