

บทที่ 6

การพิจารณาในประเด็นที่น่าสนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง

แนวทางในการประดิษฐ์ไดโอดให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าให้ดีขึ้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงโครงสร้างของไดโอดที่ประดิษฐ์ และองค์ประกอบหรือวัสดุที่จะนำมาทำการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง ในทางการพิจารณาแนวทางนี้สามารถแบ่งหัวข้อออกเป็น 3 ประเด็นใหญ่ๆ คือ

- ส่วนที่มีผลต่อกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (reverse saturation current)
- ส่วนที่มีผลต่อแรงดันพังทลาย (breakdown voltage)
- อุณหภูมิหัวต่อ (junction temperature)

6.1 ส่วนที่มีผลต่อกระแสอิ่มตัวย้อนกลับ

6.1.1 จุดบกพร่อง (defect) และพื้นที่หัวต่อ (junction area)

การประดิษฐ์ไดโอดที่สามารถรับกระแสตามได้มากๆ ไดโอดเหล่านั้นจะต้องมีพื้นที่หัวต่อที่ใหญ่ๆ ซึ่งพื้นที่ใหญ่ๆ นี้จะทำให้เกิดกระแสอิ่มตัวย้อนกลับมากขึ้นไปด้วย ดังสมการ 2.31

$$J_s = -q A \frac{D_p p_{no}}{L_p}$$

โดยที่ A = พื้นที่หัวต่อ

อย่างไรก็ตามพื้นที่หัวต่อที่ใหญ่ๆ นี้เองทำให้โอกาสที่จะพบจุดบกพร่อง (defect) ในเนื้อผลึกได้มาก ซึ่งจุดบกพร่องเหล่านี้เป็นตัวทำให้บริเวณหัวต่อเกิดความไม่เรียบสม่ำเสมอขึ้น ทำให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับสูงขึ้นและแรงดันพังทลายต่ำลง

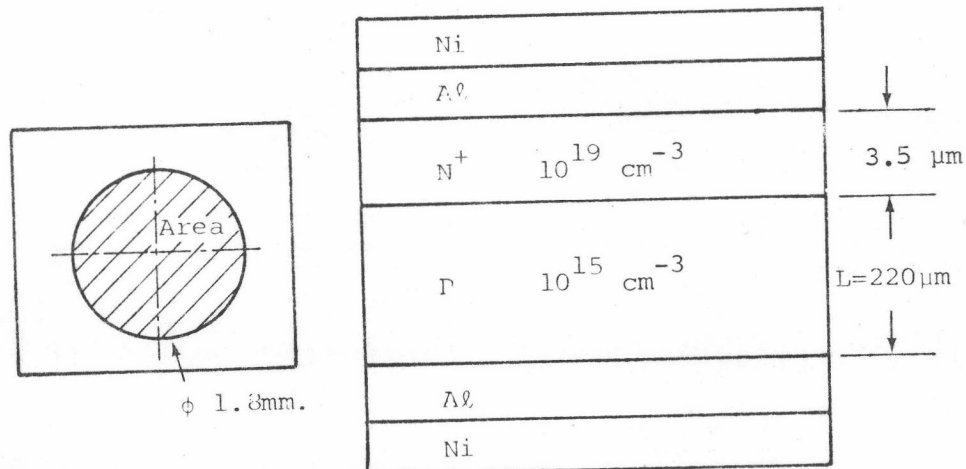
6.1.2 น้ำ DI

การประดิษฐ์ไดโอดแต่ละขั้นตอนจำเป็นต้องใช้นำ DI ในการทำความสะอาดและปลุกออกไซด์ ดังนั้นถ้าใช้น้ำ DI ที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำกว่า 10 เมกกาโอห์ม-เซนติเมตร

และใช้น้ำ DI ทำความสะอาดสารเคมีที่เกาะบนผิวแวนผลึกไม่หมด จะเป็นเหตุทำให้กระแส อิมิตวย้อนกลับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้น้ำ DI ที่คุณภาพไม่ดีไปทำการปลูกซิลิกอนไดออกไซด์ จะทำให้คุณสมบัติของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้ต่ำลง สิ่งเหล่านี้ทำให้คุณภาพของการประดิษฐ์ไดโอดกำลังต่ำลง

6.1.3 ความต้านทานอนุกรม

ความต้านทานในรูปที่ 6.1 สามารถแบ่งการพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ ความต้านทานที่เกิดในเนื้อสาร และความต้านทานขั้วต่อแบบโอห์มมิกระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิกอน ซึ่งความต้านทานที่เกิดในเนื้อสารซิลิกอนชนิดพี (10^{15} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) มีค่าประมาณ 8 โอห์ม ส่วนความต้านทานขั้วต่อแบบโอห์มมิคจะมีค่าต่ำกว่ามาก และถ้ากระบวนการทำขั้วต่อแบบโอห์มมิค



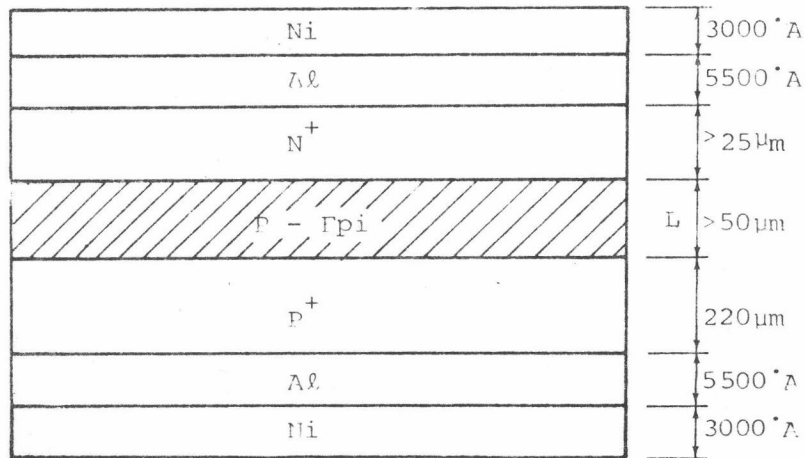
รูปที่ 6.1 โครงสร้างไดโอดที่ประดิษฐ์ขึ้น

ระหว่างซิลิกอนกับอลูมิเนียมเรียบร้อยแล้ว และสามารถตัดค่าความต้านทานขั้วต่อแบบโอห์มมิคนี้ได้ ดังนั้นในการประดิษฐ์ไดโอดกำลัง จึงจำเป็นต้องลดค่าความต้านทานที่เกิดในเนื้อแวนผลึกซิลิกอนชนิดพี (ในรูปที่ 6.1) ลง

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6.1)$$

เมื่อดูสมการที่ 6.1 ค่า R แทนค่าของความต้านทาน จะสามารถทำให้มีค่าลดลงได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของพาหะ ลดความยาว (L) และเพิ่มพื้นที่ (A) โดยที่ค่าของความเข้มข้นของพาหะมีความสัมพันธ์กับแรงดันพังทะลุ ความยาว (L) เป็นตัวกำหนดขอบเขตของบริเวณเขตปลอดพาหะ (depletion layer) และพื้นที่ (A) ถูกกำหนดโดยความไม่สมบูรณ์ของแวนผลึก

จากความสัมพันธ์ เหล่านี้ทำให้สามารถลดความต้านทานอนุกรมลงได้ ดังนั้นการนำเอาแวนผลึกซิลิกอนที่มีความเข้มข้นของพาหะต่ำ (เพิ่มให้ได้แรงดันพังทะลุสูง) โดยใช้ความยาว (L) แคบๆ และใช้แวนผลึกที่มีความไม่สมบูรณ์ของแวนผลึกต่ำๆ ก็จะช่วยลดค่าความต้านทานอนุกรมลงได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นแวนผลึกซิลิกอนชนิดที่มีชั้น epitaxy ปลูกอยู่

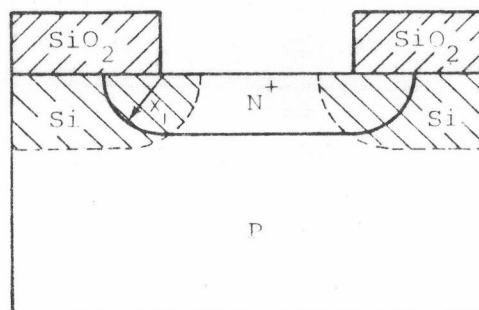


รูปที่ 6.2 โครงสร้างของไดโอดเพื่อลดความต้านทานอนุกรมให้ต่ำลง

6.2 ส่วนที่มีผลต่อแรงดันพังทะลุ (breakdown voltage)

6.2.1 ความลึกของการแพร่ซึมและ mesa pattern

ในรูปที่ 2.9 แสดงค่าแรงดันพังทะลุสำหรับหัวต่อแบบชั้น ที่ความลึก (x_j) ของการแพร่ซึมสาร เจือปน จุดที่มีผลทำให้แรงดันพังทะลุบริเวณส่วนโค้งที่เกิดจากการแพร่ซึมสาร เจือปน และบริเวณรอยต่อของซิลิกอนกับซิลิกอนไดออกไซด์ ดังนั้นถ้าความลึก (x_j) ของการแพร่ซึมสาร เจือปนมากๆ จะทำให้ได้แรงดันพังทะลุที่สูง ดังกราฟรูปที่ 2.9

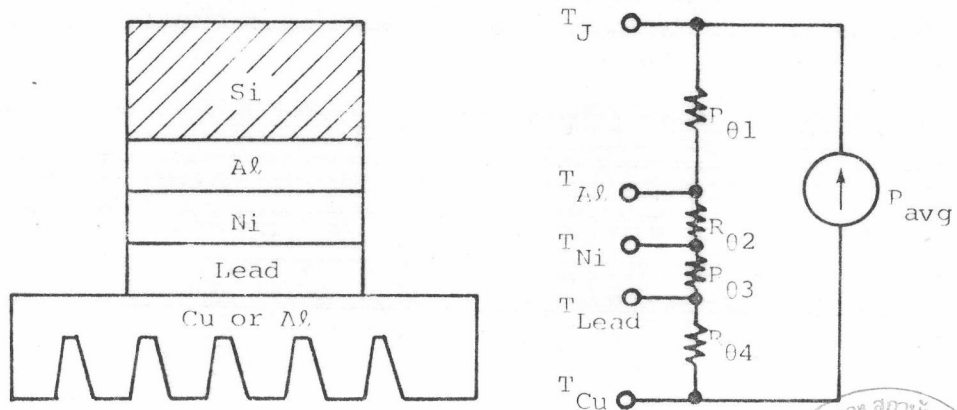


รูปที่ 6.3 แสดงบริเวณส่วนโค้งที่เกิดจากการแพร่ซึมสาร เจือปนและบริเวณเส้นประ เป็นแนวของการทำ mesa pattern

อย่างไรก็ตามการแพร่ซึมเพื่อให้ได้ความลึก (x_j) สูงๆ ด้วยวิธีของ planar เป็นวิธีการที่ไม่ประหยัดและ เสีย เวลา มาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้โครงสร้างทางฟิล์มสึ เข้าช่วยวิธีหนึ่งก็คือการใช้สาร เคมีทำการกัดบริเวณส่วนโค้งออกดัง เส้นประในรูปที่ 6.3 ซึ่งวิธีนี้แรงดันพังทะลุที่เกิดขึ้น จะเกิดตรงบริเวณ plane ดังรูป 2.11 ทำให้สามารถเพิ่มค่าแรงดันพังทะลุได้สูงขึ้น เมื่อ เปรียบเทียบกับการพังทะลุที่เกิดขึ้นบริเวณ cylindrical และ spherical ตัวอย่าง เช่น ใช้แผ่น ฟิล์มที่มีความเข้มข้น 10^{15} ซม.^{-3} มีความโค้ง (x_j) เท่ากับ 1 ไมโครเมตร จะได้แรงดัน พังทะลุประมาณ 30 โวลท์ (ดูรูปที่ 2.9) แต่ถ้าทำการกัดบริเวณส่วนโค้งตาม เส้นประรูปที่ 6.3 ออกแล้วจะทำให้ได้แรงดันพังทะลุประมาณ 250 โวลท์ (ดูรูปที่ 2.9) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการ กัดบริเวณส่วนโค้งดังกล่าวออก บริเวณหัวต่อจะเป็นจุดอ่อนจึงต้องใช้ซิลิกอนไดออกไซด์มาปกคลุม ถ้าปลูกซิลิกอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงและใช้น้ำ DI ที่มีคุณภาพไม่ดีแล้วจะทำให้เกิดการพังทะลุ ที่บริเวณหัวต่อ นั้น และทำให้เกิดการลัดวงจร (short circuit) ได้ง่ายมากด้วย

6.3 อุณหภูมิหัวต่อ (junction temperature)

เมื่อนำไดโอดไปใช้งานที่บริเวณหัวต่อจะ เกิดความร้อนขึ้นถ้าการระบายความร้อนไม่ดี จะทำให้บริเวณหัวต่อร้อนขึ้นเรื่อยๆ และอาจทำให้ไดโอดเสียได้ในที่สุด รูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่าง ความต้านทานของอุณหภูมิของไดโอดที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณหัวต่อ (T_j)



รูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่างความต้านทานทางอุณหภูมิของไดโอด



จะต้องผ่านความต้านทานทางความร้อนของอลูมิเนียม นิกเกิล และตะกั่ว ความต้านทานเหล่านี้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่และความหนา การเลือกวัสดุเพื่อให้ได้ความต้านทานทางความร้อนที่ต่ำๆ จะทำให้ไดโอดที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถทนกระแสได้สูงขึ้นซึ่งจากการประดิษฐ์ไดโอดกำลังนี้ได้เลือกใช้วัสดุและขนาดดังรูปที่ 6.4 และรูปที่ 7.1 สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนได้เท่ากับ 1.7 องศาเซลเซียส/วัตต์

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าคุณสมบัติอุณหภูมิจากวัสดุ [3]

Material	Thermal Expansion Coefficient ($^{\circ}\text{C}^{-1} \times 10^{-6}$)	Thermal Resistivity ($^{\circ}\text{C-cm/W}$)	Volume Heat Capacity ($\text{W-sec}/^{\circ}\text{C-cm}^3$)
Si	2.6	0.69	1.75
Mo	5.4	0.66	2.75
W	4.5	0.6	2.75
Al	23.1	0.43	2.6
Au	14.2	0.34	2.5
Ag	19.6	0.24	1.81
Cu	17.3	0.26	3.37
Lead	29.3	2.86	-
Mild steel	15.1	1.65	3.3-3.6
Ni	13.3	1.09	-
Nica	9-13	200-300	0.54-0.66
Al_2O_3	6.6	4.0	3.31