



บทที่ 3

การออกแบบและเตรียมการก่อนการทดลอง

3.1 การออกแบบ

โดยพิจารณาถึงลักษณะสมบัติของตัววัดรังสีอัลฟาที่ดี และออกแบบเพื่อให้ได้ตัววัดฯ ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 ลักษณะของแวนผลึกที่เหมาะสม

ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 พอสรุปได้ว่าสารถึงตัวนำที่จะนำมาสร้างตัววัดฯ นี้ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ก. ควรมีความหนาแน่นของสารเจือปนต่ำ ๆ หรือมีความต้านทานจำเพาะสูง ๆ เพื่อให้ current noise มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจาก current noise ขึ้นอยู่กับจำนวนของพาหะในตัววัดฯ
- ข. ปราศจากตัวดักจับทั้งนี้เพื่อให้สัญญาณมีการสูญเสียน้อยที่สุด
- ค. พาหะต้องมีความคล่องตัวสูง เพื่อให้สัญญาณพัลส์ มี rise time ล้วน ๆ คือแสดงคุณสมบัติที่มีความไวในการตอบสนองต่อรังสีที่มากกระทบ
- ง. พลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล แต่ละคู่ (w) ควรมีค่าน้อย ๆ และขึ้นอยู่กับช่องว่างพลังงานด้วยเพื่อให้ความสามารถในการแยกพลังงาน (energy resolution) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
- จ. เวลาชีวิตของพาหะต้องยาวนาน เพื่อให้การรวบรวมประจุเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

จากคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าซิลิกอน (Si) และเจอร์มาเนียม (Ge) เท่านั้นที่เหมาะสมจะนำมาใช้งาน โดยพิจารณาจากผลคูณของความคล่องตัวกับเวลาชีวิตของพาหะซึ่งแตกต่างไปจากสารอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ มีค่าสูงตรงตามวัตถุประสงค์สำหรับช่องว่างพลังงานก็มีค่าไม่สูงมากนัก ในที่นี้เลือกใช้ซิลิกอน เนื่องจากสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติบางประการของสารกึ่งตัวนำ ที่ถูกนำมาใช้พิจารณาหาความ
เหมาะสมสำหรับสร้างตัวตรวจจับอัลฟา (7)

Semiconductor	Energy gap (ev) at 300° K	Electron mobility (cm ² v ⁻¹ sec ⁻¹) at 300° K	Hole mobility (cm ² v ⁻¹ sec ⁻¹) at 300° K	Electron lifetime in p-type (sec)	Hole lifetime in n-type (sec)	Atomic no.	Mobility × lifetime (cm ² v ⁻¹)
Silicon	1.08	1500	500	3×10^{-3}	3×10^{-3}	14	1.5
Germanium	0.67	3800	1800	10^{-3}	10^{-3}	32	1.8
Diamond	~6	1800	1200	—	—	6	—
Gallium arsenide	1.43	8500	420	10^{-7}	10^{-7}	31, 33	4×10^{-5}
Gallium phosphide	2.25	140	150	10^{-8}	10^{-8}	31, 15	1.4×10^{-6}
Cadmium sulphide	2.4	300	10	$\sim 10^{-3}$	$< 10^{-8}$	48, 16	10^{-7}
Cadmium telluride	1.5	~100	100	4×10^{-5}	$> 10^{-5}$	48, 34	4×10^{-3}
Indium antimonide	0.17	78000	750	$\sim 10^{-7}$	$\sim 10^{-7}$	49, 51	7×10^{-5}
Gallium antimonide	0.67	4000	1400	$\sim 10^{-8}$	$\sim 10^{-8}$	31, 51	1.4×10^{-5}

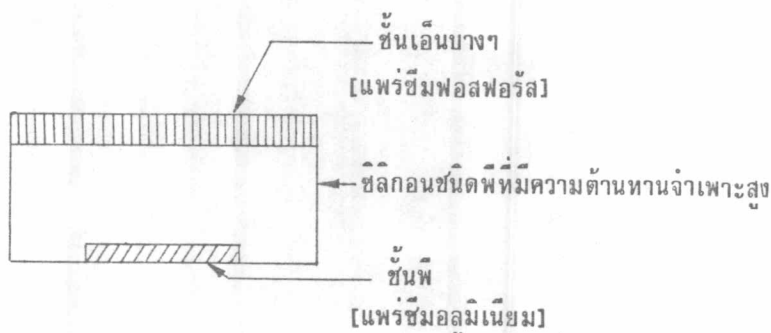
แต่สำหรับเยอรมาเนียมต้องให้ความเย็นเพื่อลดกระแสรั่วไหล (leakage current) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานที่อุณหภูมิห้อง

ในการสร้างตัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็นนี้ แวนผลิกที่นำมาใช้มีโอกาสเลือกได้ 2 แบบคือ ชนิดพีหรือชนิดเอ็นก็ได้ สำหรับในการทดลองนี้เลือกใช้แวนผลิกซิลิกอนชนิดพี เหตุผลที่เลือกใช้แบบนี้ก็เพราะว่า⁽⁸⁾

- ก. ทำให้มีความต้านทานจำเพาะสูง ๆ ได้ง่ายกว่า
- ข. เวลาชีวิตของพาหะยาวนาน
- ค. ตัวแพร่ซึมเพื่อให้เกิดหัวต่อพี-เอ็น สามารถเลือกใช้ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ซึ่งเป็นพาหะชนิดเอ็น ข้อดีของฟอสฟอรัสคือสามารถแพร่ซึมได้ง่ายกว่า บอรอน (Boron) ซึ่งมักนิยมใช้เป็นตัวแพร่ซึมชนิดพี

3.1.2 โครงสร้างของตัววัดรังสีอัลฟา

เมื่อการทดลองสร้างตัววัดฯ ได้เลือกใช้แวนผลิกชนิดพี ดังนั้นสารเจือปนจึงต้องเป็นพาหะชนิดเอ็นเพื่อที่จะได้ทำให้เกิดหัวต่อพี-เอ็นขึ้น ในที่นี้เลือกใช้สารเจือปนฟอสฟอรัสเป็นตัวแพร่ซึมนอกจากนี้ยังได้ออกแบบให้ใช้โลหะอลูมิเนียมเป็นผิวสัมผัสโอห์มปิดด้านหลังด้วย โครงสร้างของตัววัดฯ จึงอยู่ในลักษณะ เอ็น-พี-พีบวก (n-p-p⁺) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของตัววัดรังสีอัลฟาที่จะทดลองสร้าง

3.1.3 การเลือกขบวนการแพร่ซึม

จากการเลือกใช้น้ำมันผลึกซิลิกอนชนิดที่มีค่าความต้านทานจำเพาะสูง ๆ และกำหนดให้ฟอสฟอรัสเป็นตัวแพร่ซึมชนิดเส้น ขั้นตอนต่อไปก็เป็นการเลือกขบวนการแพร่ซึมสารเจือปน ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

1. โดยใช้เตาแพร่ซึมสารเจือปนแบบมาตรฐานที่อุณหภูมิ 1000 °C ขึ้นไป แหล่งกำเนิดสารเจือปน คือ POCl_3
2. โดยใช้เตาแพร่ซึมสารเจือปนที่สร้างขึ้นเอง อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่า 1000 °C แหล่งกำเนิดสารเจือปนคือ สารผสมระหว่าง P_2O_5 กับ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ (ethylene glycol)

เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมแล้ว พบว่าขบวนการที่ใช้เตาแบบมาตรฐานมีข้อเสียตรงที่ที่ใช้อุณหภูมิในการสร้างสูง มีผลให้เวลาชีวิตของพาหะลดลงและเป็นสาเหตุให้กระแสย้อนกลับ (reverse current) มีค่าสูงขึ้น และประสิทธิภาพในการรวบรวมประจุมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นขบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำจึงเหมาะสมกว่าและเลือกใช้เตาแพร่ซึมสารเจือปนที่สร้างขึ้นเอง โดยมีส่วนผสมของ P_2O_5 กับ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปน

เนื่องจากสารผสมระหว่าง P_2O_5 และ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ อยู่ในลักษณะเป็นของเหลว ดังนั้นการแพร่ซึมจึงต้องใช้ขบวนการแบบทาสารเจือปน (paint-on) ซึ่งแตกต่างจากขบวนการแบบมาตรฐานที่ใช้หลักการพัดพาพาหะแพร่ซึม ฉาบบนแว่นผลึก เมื่อพิจารณาถึงขบวนการแบบทาสารเจือปนแล้วพอที่จะอธิบายถึงข้อดีได้ดังนี้⁽²²⁾

- ก. แหล่งกำเนิดสารเจือปนสามารถเคลือบติดบนผิวของแว่นผลึกได้ที่อุณหภูมิต้อง
- ข. หลีกเลี่ยงการใช้ก๊าซที่เป็นพิษ
- ค. สารเจือปนชนิดอื่น ๆ ที่อยู่อีกด้านหนึ่งของแว่นผลึก สามารถแพร่ซึมเข้าไปพร้อม ๆ กันได้เพื่อทำหน้าที่เป็นผิวสัมผัสโห้มมิต (ohmic contact) ด้านหลัง โดยไม่ต้องใช้วิธีการถ้ำแบบ (masking) เพื่อแยกตัวแพร่ซึมทั้งสองออกจากกัน
- ง. ให้ความร้อนเพียงครั้งเดียว ในการทำโครงสร้างของตัววัดฯ
- จ. ป้องกันการเกิด "autodoping" ในระหว่างการแพร่ซึม

- ฉ. ลดความเสียหาย (damage) ของแว่นผลึกอันเนื่องมาจาก classical predeposition methods
- ช. ลดต้นทุนในการใช้เตาแพร่ซึม

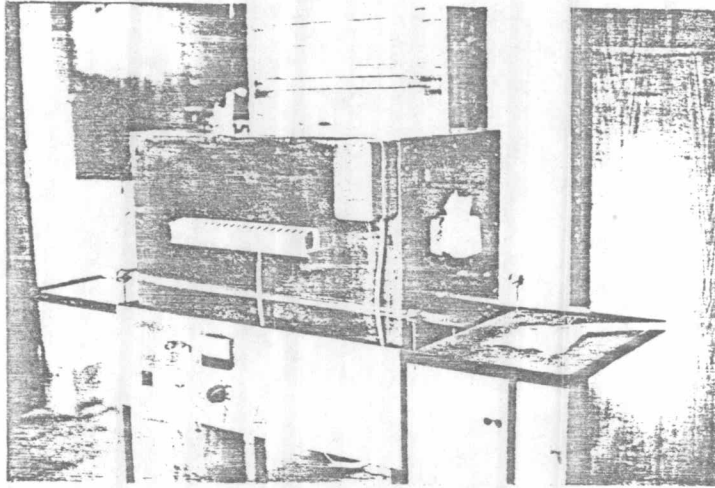
ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นพอสรุปได้ว่า การออกแบบเพื่อสร้างตัวถังสี่เหลี่ยมแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็นนี้ กำหนดให้ใช้แว่นผลึกซิลิกอนชนิดพี ที่มีความต้านทานจำเพาะสูงๆ ตัวแพร่ซึมชนิดเอ็นคือ ฟอสฟอรัส ซึ่งได้มาจากแหล่งกำเนิดที่เป็นสารผสมระหว่าง P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ ในสถานะที่เป็นของเหลว ดังนั้นจึงเลือกใช้ขบวนการแบบทาสารเจือปน โดยใช้เตาแพร่ซึมที่สร้างขึ้นเองอุณหภูมิของการแพร่ซึมต่ำกว่า $1000^\circ C$ ในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิที่ $800^\circ C$

3.2 เตรียมการก่อนการทดลอง

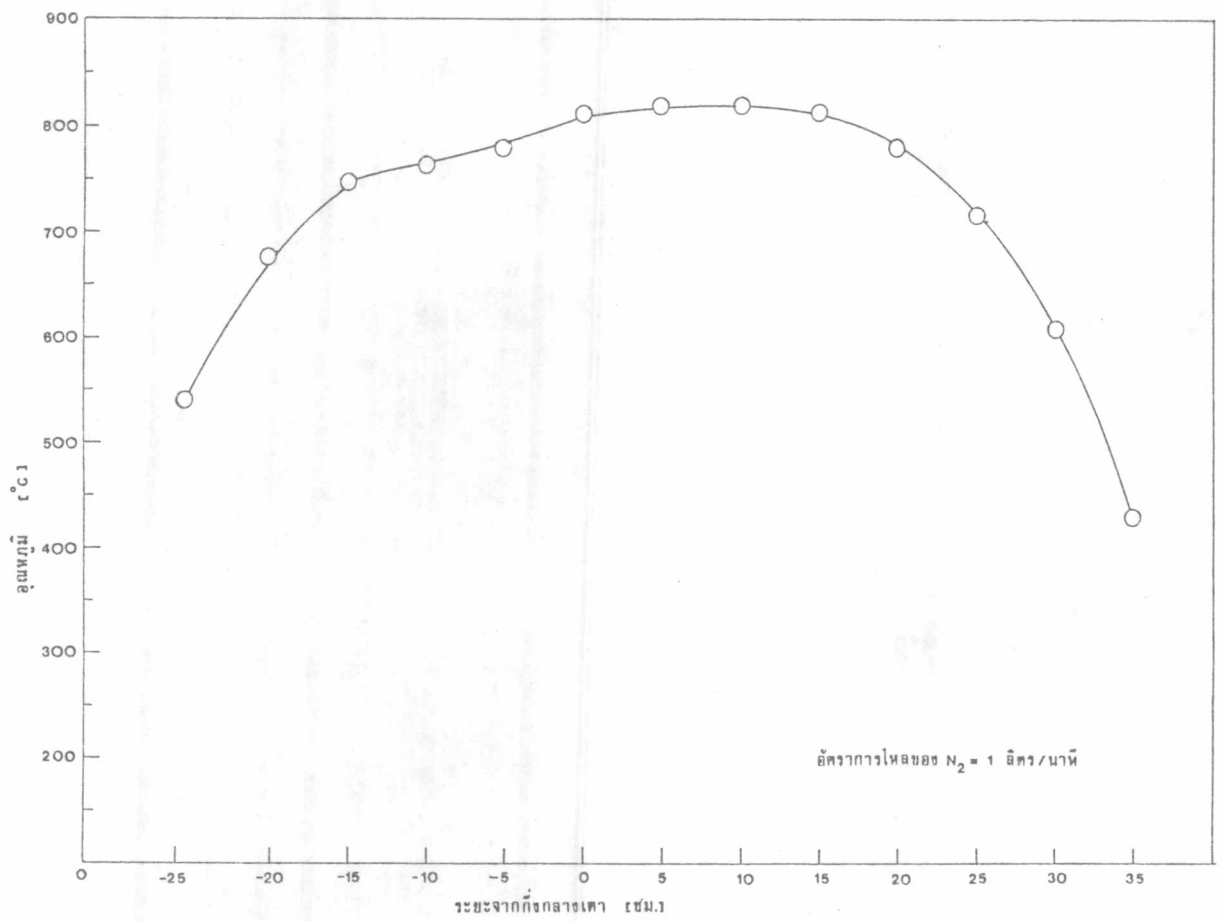
เมื่อออกแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็เป็นการเตรียมการต่าง ๆ ก่อนที่จะทดลองสร้างตัวถังฯ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 เตาแพร่ซึม

เนื่องจากเป็นเตาที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ จึงต้องเตรียมส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาที่จำเป็นต้องใช้ให้สอดคล้องกับขบวนการแพร่ซึมสารเจือปน อาทิเช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิของเตา ระบบการส่งผ่านก๊าซเข้าเตา ท่อแกว่ควอดซ์ ท่อโปรไฟล์ (profile) เพื่อวัดค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตา สำหรับเตาแพร่ซึมนี้ออกแบบให้ใช้ได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง $1000^\circ C$ ลักษณะของเตาแพร่ซึมดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในเตากับระยะทางจากกึ่งกลางเตาได้แสดงได้ในรูปที่ 3.3 โดยส่งผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าเตาด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.2 ลักษณะเตาแพร่ซิมที่สร้างขึ้นเอง



รูปที่ 3.3 ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาแพร่ซิม

3.2.2 การเลือกแว่นผลึก

ในการวิจัยนี้แบ่งการสร้างตัววัดฯ ออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกเลือกใช้แว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีที่มีความต้านทานจำเพาะ 147 โอห์ม-ซม. และชุดที่สองเลือกใช้แว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีที่มีความต้านทานจำเพาะ 7500 โอห์ม-ซม. ในตอนแรกได้เลือกใช้แว่นผลึกฯ 147 โอห์ม-ซม. ทดลองสร้างตัววัดฯก่อนเพื่อศึกษาขั้นตอนการทดลองในระยะเริ่มต้น จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แล้วจึงนำแว่นผลึกฯ 7500 โอห์ม-ซม. มาสร้างตัววัดฯตามขั้นตอนที่ได้ทดลองมาแล้วข้างต้น โดยหวังว่าจะได้ตัววัดฯที่มีคุณสมบัติดีขึ้น จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับตัววัดฯมาตรฐานที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ

3.2.3 แหล่งกำเนิดสารเจือปน

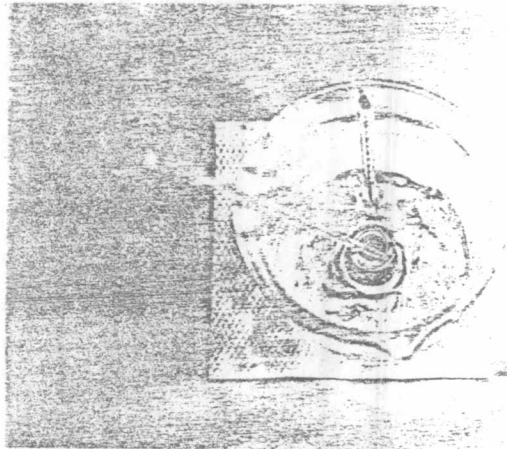
กำหนดให้ใช้ฟอสฟอรัสเป็นตัวแพร่ซึมชนิดเอ็น แหล่งกำเนิดสารเจือปนฟอสฟอรัสนี้เป็นสารผสมระหว่าง P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ (ethylene glycol) P_2O_5 มีลักษณะเป็นผงสีขาว ส่วน $C_2H_6O_2$ เป็นสารละลายสีใสทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนของผสม $P_2O_5 : C_2H_6O_2$ เป็น 2 มิลลิลิตร : 10 มิลลิลิตรโดยปริมาตร^(8,13) สารผสมที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีดำ ก่อนที่จะนำไปใช้งานต้องเก็บไว้ในภาชนะที่ปราศจากความชื้นเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้ปฏิกิริยาเป็นอย่างสมบูรณ์เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

สาเหตุที่เลือก $C_2H_6O_2$ เป็นตัวทำละลายมีเหตุผลดังนี้⁽³⁾

- ก. มีเสถียรภาพทางเคมีสูง
- ข. มีแรงดึงผิวมากเพียงพอ

อนึ่งในระหว่างที่ผสมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ทั้งควันและความร้อน ดังนั้นการผสมจึงต้องกระทำในตู้ควัน และต้องให้ความเย็นแก่สารผสมตลอดเวลา โดยให้น้ำแข็งอยู่ล้อมรอบภาชนะที่ใส่สารผสม (อุณหภูมิ $20^\circ C$) เทคนิคในการผสมคือต้องค่อย ๆ ใส่ P_2O_5 ลงใน $C_2H_6O_2$ ที่ละน้อยและหมั่นกวนบ่อย ๆ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ปฏิกิริยาเป็นไปอย่างช้า ๆ และสมบูรณ์ที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสารชนิดอื่นที่ไม่พึงปรารถนา ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง

นอกจากนี้บริเวณที่ปฏิบัติการจะต้องปราศจากความชื้น เพราะ P_2O_5 มีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ดี ย่อมมีผลทำให้สารผสมที่ได้มีคุณสมบัติไม่ดีเท่าที่ควร สำหรับลักษณะการผสม P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะการผสม P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ (ethylene glycol)

เนื่องจาก P_2O_5 เป็นสารอนินทรีย์ และ $C_2H_6O_2$ เป็นสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงไม่สามารถแบ่งได้แน่ชัดว่าสารประกอบทั้งหมดที่เกิดจากการทำปฏิกิริยามีอะไรบ้าง เมื่อทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส ปรากฏว่า สารผสมนี้มีคุณสมบัติเป็นกรด