การออกแบบและสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่าแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น

นายพรพิทักษ์ โพธิเวชกุล

006862

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

I16606405

DESIGN AND FABRICATION OF A P-N JUNCTION SEMICONDUCTOR DETECTOR FOR ALPHA RADIATION

Mr. Pornpitak Potivejkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

1981

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างตัวรับรังสีอัลฟาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น
โดย	นาย พรพิทักษ์ โพธิเวชกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.มนูญ อร่ามรัตน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทิน เวทย์วัฒนะ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์)

.....กรรมการ

(ดร.มนูญ อร่ามรัตน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่าแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น
โดย	นาย พรพิทักษ์ โพธิเวชกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.มนูญ อร่ามรัตน์
ปีการศึกษา	2523

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่าแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็นแบบแพร่ซึม สารกึ่งตัวนำที่ใช้คือ แว่นผลึกซิลิกอนชนิดพีที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมในโครงโครงสร้างแบบ <111> มีความต้านทานจำเพาะ 147 และ 7500 โอห์ม-ซม. และมีความหนาประมาณ 280 และ 240 ไมครอนตามลำดับ การแพร่ซึมได้ใช้เทคนิคแบบทา (paint-on) สารเจือปนโดยใช้สารผสมระหว่างฟอสฟอรัสเพนตะอ๊อกไซด์ (P_2O_5) และเอทีลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$) เป็นแหล่งกำเนิดสารเจือปนชนิดเอ็น ด้วยอัตราส่วน 2 มิลลิลิตรต่อ 10 มิลลิลิตรโดยปริมาตรตามลำดับ การแพร่ซึมได้กระทำที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง

ตัววัดฯ ที่สร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางการตอบสนองต่อรังสี ผลการทดสอบปรากฏว่า ตัววัดฯ ที่ 1(มีความต้านทานจำเพาะก่อนการแพร่ซึมเท่ากับ 147 โอห์ม-ซม.) และตัววัดฯ ที่ 2 (มีความต้านทานจำเพาะก่อนการแพร่ซึมเท่ากับ 7500 โอห์ม-ซม.) มีความลึกของหัวต่อเท่ากับ 0.32 และ 0.8 ไมครอน มีแรงดันพังทลายที่ 108 และ 135 โวลต์ และมีความหนาแน่นผิวของกระแสย้อนกลับที่แรงดันไบแอสย้อน 20 โวลต์ ประมาณ 280 และ 46 ไมโครแอมป์ต่อตร.ซม. ตามลำดับ การวัดคุณสมบัติทางการตอบสนองต่อรังสีฯ ได้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีฯ สองชนิดคือ อเมอริเซียม (Am-241) และเรเดียม (Ra-226) ผลการทดสอบปรากฏว่าตัววัดฯ ที่ 1 และที่ 2 สามารถวัดลักษณะของแหล่งกำเนิดรังสีเรเดียมได้รายละเอียดที่สำคัญครบถ้วน (พลังงานช่วง 4-8 MeV) และมีความสามารถในการแยกพลังงานของรังสีฯ (energy resolution) ด้วยค่า Full Width at Half Maximum (FWHM) เท่ากับ 145 และ 226 keV ตามลำดับ

(กำหนดที่พลังงาน 5.476 MeV ของ Am-214) ในการทดสอบได้ป้อนแรงดันไบแอสย้อนที่เหมาะสม ให้กับตัววัดฯ ที่ 1 และที่ 2 เท่ากับ 20 และ 70 โวลต์ ตามลำดับ

Thesis Title	Design and Fabrication of a P-N Junction Semiconductor Detector for Alpha Radiation.
name	Mr. Pornpitak Potivejkul
Thesis Advisor	Manoon Aramrattana,Ph.D.
Department	Electrical Engineering
Academic Year	1980

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and fabricate a diffused p-n junction semiconductor detector for alpha radiation by paint-on diffusion technique. The starting wafer is p-type silicon with orientation of $\langle 111 \rangle$, resistivity of 147 and 7500 ohm-cm. and with thickness of 280 and 240 microns respectively. Paint-on diffusion technique is used. The diffusion source is the mixture of phosphorus pentoxide (P_2O_5) and ethylene glycol ($C_2H_6O_2$) with mixture ratio of 2 ml to 10 ml by volume respectively. The diffusion was performed at temperature of 800 °C for one hour.

The fabricated semiconductor detectors are tested for physical, electrical and radiation properties. The tested results for detector No.1 (bulk resistivity of 147 ohm-cm.) and detector No.2 (bulk resistivity of 7500 ohm-cm) show junction depth of 0.32 and 0.8 microns, breakdown voltage of 108 and 135 volts and reverse current density of 280 and 46 A/cm^2 at reverse bias voltage of 20 volts,respectively. Americium (Am-241) and Radium (Ra-226) alpha radiation sources are used to test the radiation detection characteristics of the detectors. The detector No.1 and No.2

can detect major peaks of the Radium spectrum (4-8 MeV); the measured energy resolution in Full Width at Half Maximum (FWHM) are 145 and 226 keV (determined at 5.476 MeV of Am-241); and the tested reverse bias voltage are 20 and 70 volts, respectively.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก ดร.มนูญ อร่ามรัตน์ แห่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยได้ให้คำแนะนำปรึกษาในการดำเนินงานตามขั้นตอนต่าง ๆ อย่างดียิ่ง อีกทั้ง รศ.ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และ อ.ดร.บรรยง โตประเสริฐพงศ์ แห่งแผนกวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์มาโดยตลอด ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำและเจ้าหน้าที่ธุรการแผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่มีส่วนช่วยเหลือในการทดลอง และงานธุรการต่าง ๆ เป็นอย่างดี พร้อมทั้งขอขอบคุณ คุณ ระยะ จตุระบุล ในงานพิมพ์ต้นฉบับวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณต่อบัณฑิตวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำในการให้ทุนสำหรับการวิจัยแก่ผู้เขียนเป็นอย่างมาก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

รายการตารางประกอบ ..... ฌ

รายการรูปประกอบ ..... ฌ

บทที่

1. บทนำ 1

2. ทฤษฎี 4

2.1 คุณสมบัติการแผ่รังสีทางนิวเคลียร์ 4

2.2 คุณสมบัติของอนุภาคอัลฟา 14

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของตัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ 17

2.4 ตัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น 29

3. การออกแบบและเตรียมการก่อนการทดลอง 50

3.1 การออกแบบ 50

3.2 เตรียมการก่อนการทดลอง 54

4. การสร้างตัววัดรังสีอัลฟาแบบสารกึ่งตัวนำชนิดหัวต่อพี-เอ็น 58

4.1 การทำความสะอาดแว่นผลึกขั้นต้น 59

4.2 การฉาบอลูมิเนียมบนผิวด้านหลังของแว่นผลึก 59

4.3 การเคลือบสารผสมของ P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ บนผิวด้านหน้าของแว่นผลึก 60

4.4 การอบแห้งด้วยแสงอินฟราเรด 61

4.5 การนำแว่นผลึกเข้าเตาแพร่ซึม 62

4.6 การทำความสะอาดแว่นผลึกหลังการแพร่ซึม 63

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7 การตัดแบ่งแว่นผลึกโดยใช้เครื่องกรีดผลึก 64

4.8 การติดแว่นผลึกและสายขั้วไฟฟ้ากับฐานยึด 64

5. วิธีการทดสอบ 67

5.1 ทดสอบทางกายภาพ 67

5.2 ทดสอบทางไฟฟ้า 68

5.3 ทดสอบทางรังสี 73

6. ผลการทดสอบและวิจารณ์ 77

6.1 ผลการทดสอบทางกายภาพ 77

6.2 ผลการทดสอบทางไฟฟ้า 79

6.3 ผลการทดสอบทางรังสี 82

7. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 91

7.1 สรุปผลการวิจัย 91

7.2 ข้อเสนอแนะ 93

เอกสารอ้างอิง 95

ภาคผนวก 98

ประวัติ 116

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของการแผ่รังสีนิวเคลียร์	10
2.2	ค่าพลังงานเฉลี่ย (w) ที่ทำให้เกิดคู่อิเลคตรอน-โฮลแต่ละคู่ในของแข็งชนิดต่าง ๆ	12
3.1	คุณสมบัติบางประการของสารกึ่งตัวนำ ที่ถูกนำมาใช้พิจารณาหาความเหมาะสมสำหรับสร้างตัววัดรังสีอัลฟ่า.....	51
6.1	คุณสมบัติทางกายภาพของแว่นผลึกก่อนและหลังการแพร่ซึมฟอสฟอรัส.....	77
6.2	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัววัดรังสีอัลฟ่าชนิดหัวต่อพี-เอ็นทั้ง 3 ตัวอย่าง.....	79
6.3	คุณสมบัติทางรังสีของตัววัดฯ ทั้ง 3 ตัวอย่างโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีอเมอริเซียม	86
6.4	ค่าจำนวนนับปริมาณรังสีต่อ ตร.ซม. ของตัววัดฯ ทั้ง 3 ตัวอย่างโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีเรเดียม.....	89
ผ.1	คุณสมบัติทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟ่ามาตรฐานแบบ surface barrier.....	111

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของอนุภาคอัลฟ่าและโปรตอนกับระยะเคลื่อนที่ในซิลิกอนและเยอรมาเนียม	7
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคอัลฟ่ากับระยะการเคลื่อนที่ในตัวกลางใด ๆ	15
2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่กับพลังงานของอนุภาคอัลฟ่าในอากาศ	16
2.4	แผนผังแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	18
2.5	แสดงเฟอร์มิฟังก์ชัน และความหนาแน่นของ states ของสารกึ่งตัวนำ	20
2.6	แผนผังของตัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ	24
2.7	แผนผังแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำเมื่อเกิดอิออนไนเซชัน	26
2.8	วงจรอย่างง่ายของตัววัดรังสี	28
2.9	โครงสร้างของหัวต่อพี-เอ็น	29
2.10	ตัววัดรังสีชนิดหัวต่อพี-เอ็นที่สร้างขึ้นจากแว่นผลึกซิลิกอน	30
2.11	การกระจายของประจุในหัวต่อพี-เอ็น	31
2.12	แผนผังแถบพลังงานของหัวต่อพี-เอ็น	32
2.13	แสดงแผนผังของการกระจายของประจุสนามไฟฟ้า และการกระจายของศักย์ภายใต้เงื่อนไข step-junction ที่ถูกไบแอสย้อน	35
2.14	แผนผังสำหรับใช้หาความกว้างของเขตปลอดพาหะ	37
2.15	วงจรที่แท้จริงของตัววัดรังสี	38
2.16	การเคลื่อนย้ายของอิเลคตรอนเข้าและออกจากเซนเตอร์ของการรวมตัว	41
2.17	หัวต่อพี-เอ็นภายใต้การไบแอสย้อน	43
3.1	โครงสร้างของตัววัดรังสีอัลฟ่าที่จะทดลองสร้าง	52

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	ลักษณะเตาแพร่ซึมที่สร้างขึ้นเอง	55
3.3	ค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาแพร่ซึม	55
3.4	ลักษณะการผสม P_2O_5 กับ $C_2H_6O_2$ (ethylene glycol)	57
4.1	การอบแว่นผลึกด้วยแสงอินฟราเรด	61
4.2	การวางแว่นผลึกภายในเตาแพร่ซึม	63
4.3	การเชื่อมต่อตัววัดรังสีเข้ากับฐาน TO-5	64
4.4	การเชื่อมต่อตัววัดรังสีเข้ากับ package รูปทรงกระบอก	65
5.1	ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันแบบมาตรฐานของตัววัดรังสี	69
5.2	ระบบการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันโดยใช้เครื่อง Curve Tracer	70
5.3	วงจรที่แท้จริงของตัววัดรังสีชนิดหัวต่อพี-เอ็น	71
5.4	ระบบการวัดค่าความจุของหัวต่อพี-เอ็น	72
5.5	การวัดค่าความจุของหัวต่อพี-เอ็นโดยใช้ LCR meter	72
5.6	ความสามารถในการแยกพลังงานของตัววัดรังสีมาตรฐานชนิดหัวต่อพี-เอ็นที่มีต่อรังสีอัลฟ่า	73
5.7	แผนผังของระบบที่ใช้ทดสอบผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟ่า	74
5.8	เครื่องมือทดสอบผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดรังสีอัลฟ่า	74
5.9	ตัววัดรังสีอัลฟ่าที่มี package แบบฐาน TO-5	76
5.10	ตัววัดรังสีอัลฟ่าที่มี package แบบรูปทรงกระบอก	76
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของพาหะก่อนการแพร่ซึมกับความลึกของหัวต่อพี-เอ็นหลังการแพร่ซึม	78
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของหัวต่อพี-เอ็นของตัววัดรังสีอัลฟ่าที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ตัวอย่างกับแรงดันไบแอสย้อน	80
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง FWHM ของตัววัดรังสีอัลฟ่าที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ตัวอย่างกับแรงดันไบแอสย้อนโดยทดสอบกับรังสีอเมอริเซียม	83

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.4	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 1 ที่มีต่อรังสีอเมอริเซียม.....	84
6.5	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 2 ที่มีต่อรังสีอเมอริเซียม.....	85
6.6	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 3 ที่มีต่อรังสีอเมอริเซียม.....	85
6.7	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 1 ที่มีต่อรังสีเรเดียม.....	87
6.8	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 2 ที่มีต่อรังสีเรเดียม.....	88
6.9	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ ที่ 3 ที่มีต่อรังสีเรเดียม.....	88
ผ.1	วงจรวัดความต้านทานจำเพาะโดยใช้ Four-point probe	98
ผ.2	Four-point probe model FPP-100.....	99
ผ.3	Geometry correction.....	99
ผ.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันคร่อมขั้วแอนโนด-คาโทดกับความหนาของชั้นอ๊อกไซด์	
ผ.5	ระบบเครื่องมือสร้างชั้นอ๊อกไซด์ด้วยวิธีแอนโนดิคออกซิเดชัน.....	100
ผ.6	พื้นที่ภาคตัดขวางของแว่นผลึกที่ถูกขัดผิวโดยวิธีเซาะร่อง.....	101
ผ.7	ลักษณะของแถบสีที่ปรากฏหลังการย้อมสี.....	104
ผ.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะกับค่าความเข้มข้นของพาหะของซิลิกอนที่อุณหภูมิ 300 °K.....	106
ผ.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำจำเพาะ ($\frac{1}{\rho}$) กับค่าความเข้มข้นของพาหะบนผิว (N_s) สำหรับชั้นพาหะชนิดเอ็นและเป็นแบบ complementary error function distribution.....	107
ผ.10	สเปคตรัมของรังสีอเมอริเซียม.....	108
ผ.11	สเปคตรัมของรังสีเรเดียม.....	108
ผ.12	ตัววัดรังสีอัลฟ่ามาตรฐานแบบ surface barrier	109
ผ.13	ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ แบบ surface barrier ที่มีต่อรังสีอเมอริเซียม.....	110

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

ผ.14 ผลตอบสนองทางรังสีของตัววัดฯ แบบ surface barrier ที่มีต่อรังสีเรเดียม 110

ผ.15 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันตัววัดรังสีอัลฟาทั้ง 3 ตัวอย่างที่สร้างขึ้น..... 112

ผ.16 สเปคตรัมของอเมอริเซียมสำหรับใช้หาค่า FWHM..... 113