

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องวัดความเข้มแสงอุลตราไวโอเล็ต

Ultraviolet Intensity Meters



นายสมศักดิ์ เขียร์ศิริกุล

หัวหน้าโครงการวิจัย

RCH ได้รับการสนับสนุนจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

TK

8360 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

· 061

ร 282๗

ประจำปีงบประมาณ 2551

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 105790

วัน,เดือน,ปี..... 2 ส.ค. 2552

b. 121608๗๕

.....

.....

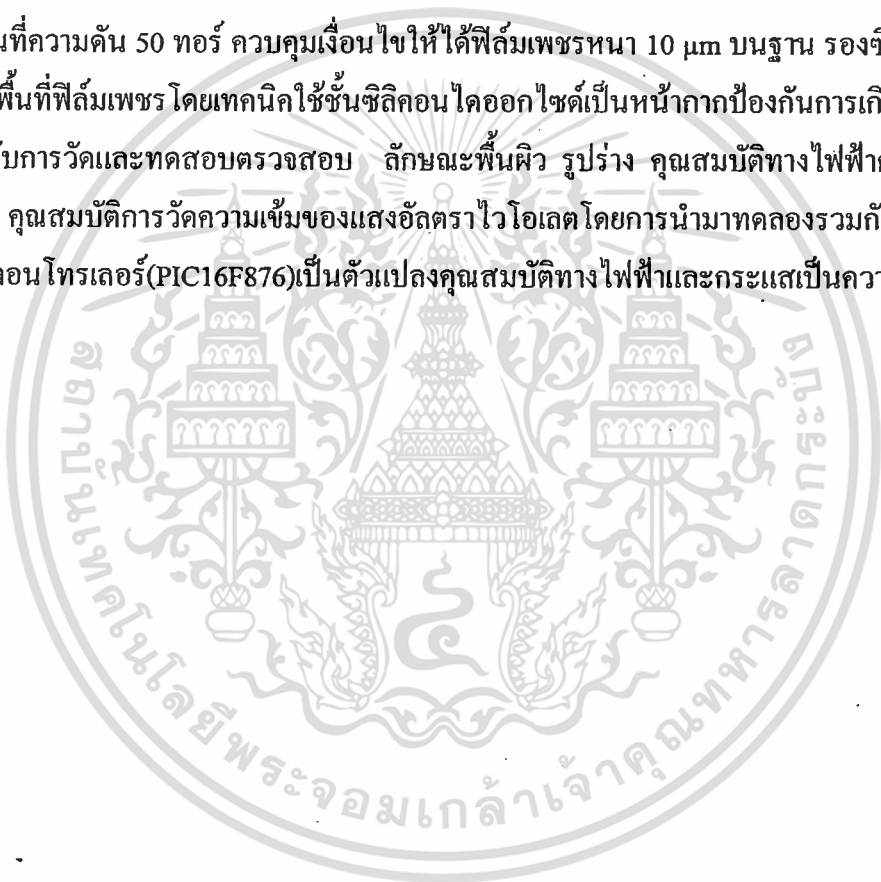
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ในวาทกรรมใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND UV SENSOR

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างฟิล์มเพชร เพื่อนำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลต (Diamond UV sensor) ซึ่งฟิล์มเพชรสามารถตอบสนองได้ดีกับแสง โดยฟิล์มเพชรของโครงการนี้ได้จากการสังเคราะห์ในกระบวนการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดัน 50 ทอร์ ควบคุมเงื่อนไขให้ได้ฟิล์มเพชรหนา 10 μm บนฐาน รองซิลิคอน มีการควบคุมพื้นที่ฟิล์มเพชร โดยเทคนิคใช้ชั้นซิลิคอน ไดออกไซด์เป็นหน้าฉากป้องกันการเกิดฟิล์มเพชร สำหรับการวัดและทดสอบตรวจสอบ ลักษณะพื้นผิว รูปร่าง คุณสมบัติทางไฟฟ้ากระแสและแรงดัน คุณสมบัติการวัดความเข้มของแสงอัลตราไวโอเลตโดยการนำมาทดลองร่วมกับวงจร โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์(PIC16F876)เป็นตัวแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและกระแสเป็นความเข้มของแสง

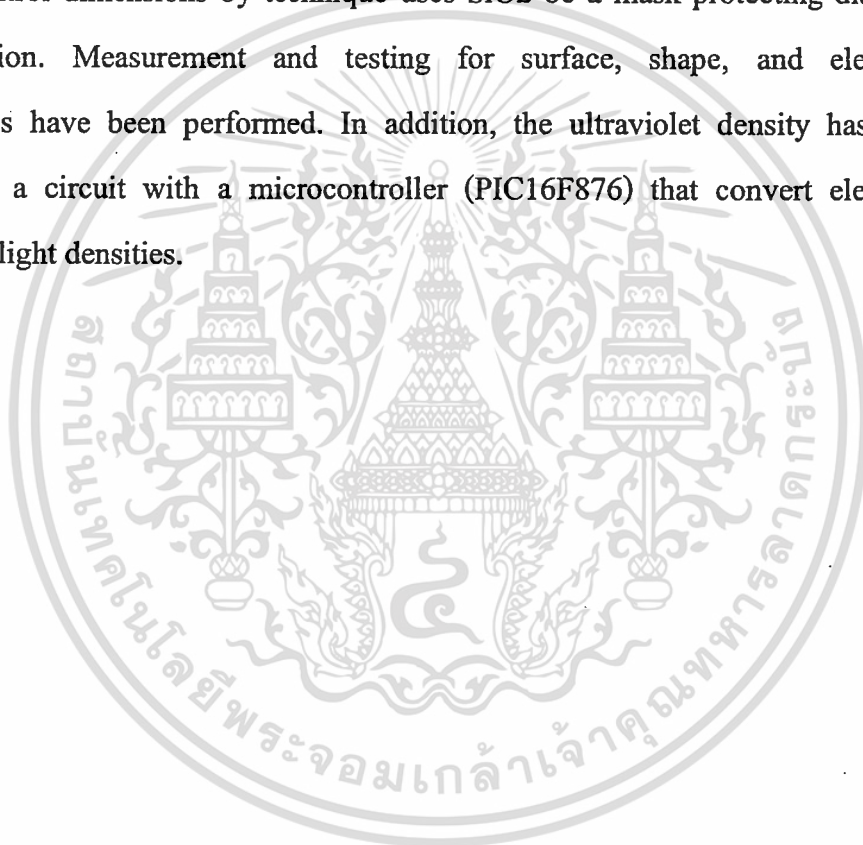


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIAMOND UV SENSOR

ABSTRACT

This report has studied and developed diamond film for fabrication electrode with Diamond UV sensor. which, diamond film can recompense well with the light. Diamond film was synthesized on a silicon by hot-filament CVD on silicon substance with the optimization condition for 10 μm . This diamond film has the active area of electrode control dimensions by technique uses SiO_2 be a mask protecting diamond film formation. Measurement and testing for surface, shape, and electrical characteristics have been performed. In addition, the ultraviolet density has been measured in a circuit with a microcontroller (PIC16F876) that convert electrical signals to be light densities.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญรูป.....	V
รายการสัญลักษณ์.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 फिल्मเพชร.....	3
2.2 รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ.....	7
2.3 พฤติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ.....	16
2.4 อุปกรณ์ตรวจวัดแสง.....	19
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง.....	22
3.1 การออกแบบขอตักกีโฟโตไดโอด.....	22
3.2 การออกแบบไดอะแฟรม.....	25
3.3 มาส์คและลำดับการสร้าง.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
4.1 การศึกษาคุณลักษณะกระแสและแรงดันของขอตักกีไดโอดสร้างจากฟิล์มเพชร.....	36
4.2 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของขอตักกีไดโอดฟิล์มเพชร.....	36
4.3 การประยุกต์ใช้งานซีอตักกีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรสำหรับ UV มิเตอร์.....	39
4.4 การทำแผ่นวงจร.....	43
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพชรกับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ.....	5
ตารางที่ 4.1 แรงดันของขอตัก์โฟโตโอดเมื่อได้รับแสง Halogen.....	37
ตารางที่ 4.2 แรงดันของขอตัก์โฟโตโอดเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ 1 mW/cm^2	38
ตารางที่ 4.3 การวัดเทียบค่าแรงดันกับค่าความเข้มแสงของเครื่องมือที่ออกแบบ.....	46
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องมือวัดที่ ออกแบบ.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แผนผังสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต.....	1
รูปที่ 2.1	แบบจำลองโครงสร้างผลึกเพชร.....	3
รูปที่ 2.2	ระนาบต่างๆ ของเพชร.....	4
รูปที่ 2.3	ภาพไดอะแกรมระบบ CVD แบบลดความร้อน.....	6
รูปที่ 2.4	แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์.....	7
รูปที่ 2.5	โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N).....	8
รูปที่ 2.6	โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P).....	8
รูปที่ 2.7	โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ.....	10
	เมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและโลหะให้ศักย์ลบ)	
รูปที่ 2.8	โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ.....	11
	เมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์ลบและโลหะให้ศักย์บวก)	
รูปที่ 2.9	โครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มเพชรและโลหะอลูมิเนียม.....	15
รูปที่ 2.10	การลดลงของโฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำปริมาณของโฟตอน ฟลักซ์ที่ลดลงเกิดจากการดูดกลืนโฟตอนภายในสารกึ่งตัวนำ	16
รูปที่ 2.11	แสดงการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ในช่องว่างแถบพลังงาน.....	17
รูปที่ 2.12	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	19
รูปที่ 2.13	กลไกการดูดกลืนแสงแบบต่างๆ ในรอยต่อขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	21
รูปที่ 3.1	มาร์คโคอะเฟรม.....	23
รูปที่ 3.2	มาร์คข้าวโลหะ.....	24
รูปที่ 3.3	ภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	25
รูปที่ 3.4	ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก.....	26
รูปที่ 3.5	ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร.....	27
รูปที่ 3.6	ภาพจำลองขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	34
รูปที่ 3.7	ภาพถ่ายโคอะเฟรมฟิล์มเพชรที่เกิดจากการกัดฐานรองซิลิคอนด้วยสารละลาย EPD.....	35
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างได้.....	35
รูปที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของขอตต์กีโฟโตไดโอด ก่อนฉายแสง.....	36
รูปที่ 4.2	ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่รับแสงต่างกัน.....	36
รูปที่ 4.3	การต่ออุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางแสงต่างๆ.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการตอบสนองค่าแรงดันที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของพื้นที่รับแสง.....	38
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการตอบสนองค่ากระแสที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของพื้นที่รับแสง.....	38
รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมส่วนประกอบของวงจร UV มิเตอร์.....	39
รูปที่ 4.7 วงจรขยายของภาคคีเทคเตอร์.....	39
รูปที่ 4.8 Microcontroller 16F876.....	40
รูปที่ 4.9 วงจรที่ใช้ในการ Simulate โดยโปรแกรม ISIS.....	42
รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งขาของ LCD.....	42
รูปที่ 4.11 เขียนวงจร ด้วยโปรแกรม Orcad Capture CIS.....	43
รูปที่ 4.12 สร้างแผ่นวงจรจากเอกสารต้นแบบ.....	44
รูปที่ 4.13 เครื่องมือวัดแสงอัลตราไวโอเลต.....	44
รูปที่ 4.14 เครื่อง Mask Aliment.....	45
รูปที่ 4.15 เครื่อง UNI METER.....	45
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสง.....	46
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องที่สร้างขึ้น.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
ϵ	ค่าเพอริตติวิตี (permittivity)
ϵ_0	ค่าเพอริตติวิตีของสุญญากาศ (permittivity of vacuum)
ϵ_s	ค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกสารกึ่งตัวนำ (dielectric constant of semiconductor)
θ	มุม(angle)
χ	อิเล็กตรอนเอฟฟินิตี (electron affinity)
λ	ความยาวคลื่นของแสง (wavelength of light)
μ	ความคล่องตัวของพาหะ (mobility)
μ_e	ความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (electron mobility)
μ_h	ความคล่องตัวของโฮล (hole mobility)
ν	ความถี่ของแสง (frequency of light)
ρ	สภาพความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity)
σ_0	สภาพนำไฟฟ้า (conductivity)
σ_D	สภาพนำไฟฟ้ามืด (dark conductivity)
σ_P	สภาพนำไฟฟ้าด้วยแสง (photoconductivity)
τ	เวลาอายุพาหะ (lifetime)
ϕ	ฟังก์ชันงาน (work function)
ω	ความถี่เชิงมุม (angular frequency)
B	แบนด์วิดท์ (band width)
C	ความจุไฟฟ้า (capacitance)
C_j	ความจุไฟฟ้าที่รอยต่อ (junction capacitance)
E_A	ระดับพลังงานแอกเซ็ปเตอร์ (acceptor level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

ความหมาย

E_c	ระดับคอนดักชัน (conduction level)
E_D	ระดับพลังงาน โดเนอร์ (donor level)
E_f	ระดับพลังงานเฟอร์มี (fermi level)
E_g	ช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap)
E_v	ระดับเวเลนซ์ (valence level)
f	ความถี่ (frequency)
I	กระแสไฟฟ้า (current)
I_d	กระแสไฟฟ้ามืด(dark current)
I_p	กระแสไฟฟ้าโฟโต(photo current)
I_s	สัญญาณรบกวนชนิดช็อต (shot noise)
I_{sc}	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตลัดวงจร (short circuit output current)
m^*	มวลประสิทธิผล(effective mass)
N_A	ความหนาแน่นของแอกเซปเตอร์ (acceptor density)
N_V	ความหนาแน่นประสิทธิผลของสเตตของโฮล (effective density of holes)
q	ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน(electronic charge)
V_{bi}	ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in voltage)
V_{oc}	แรงดันเอาต์พุตวงจรมเปิด (open circuit voltage)

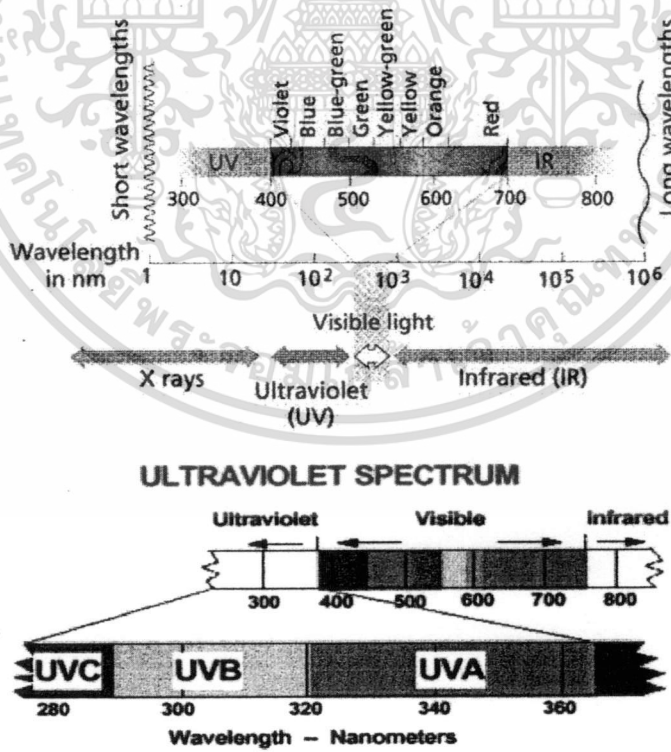
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ฟิล์มเพชรเป็นรูปแบบหนึ่งของคาร์บอนซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำอยู่ในหมู่ 4 ของตารางธาตุ เช่นเดียวกับซิลิคอน ดังนั้นฟิล์มเพชรจึงมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้เช่นเดียวกับซิลิคอนนอกจากนี้ฟิล์มเพชรยังมีคุณสมบัติบางด้านที่พิเศษกว่าซิลิคอน เช่น มีความคล่องตัวของประจุพาหะสูง มีความทนทานต่อการกัดของสารเคมี มีความนำความร้อนสูง มีความกว้างช่องว่างแถบพลังงานมากและมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำเป็นต้น ดังนั้นฟิล์มเพชรจึงเป็นวัสดุใหม่ที่น่าสนใจในการพัฒนาเพื่อนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเหมาะกับการนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงความยาวคลื่นสั้นย่านแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ถูกรบกวนจากความยาวคลื่นแสงช่วงตามองเห็นต่ำ

รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นส่วนหนึ่งของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องถึงพื้น โลก รังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่รังสีออกจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยสเปกตรัม ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แถบกว้างๆ แสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 นาโนเมตร จนถึง 400 นาโนเมตรดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

UV-C ช่วงคลื่น 100-280 นาโนเมตร ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดโดย โอโซน และออกซิเจนในบรรยากาศ

UV-B ช่วงคลื่น 280-315 นาโนเมตร ถูกดูดกลืนเป็นส่วนใหญ่และส่องถึงพื้นโลกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

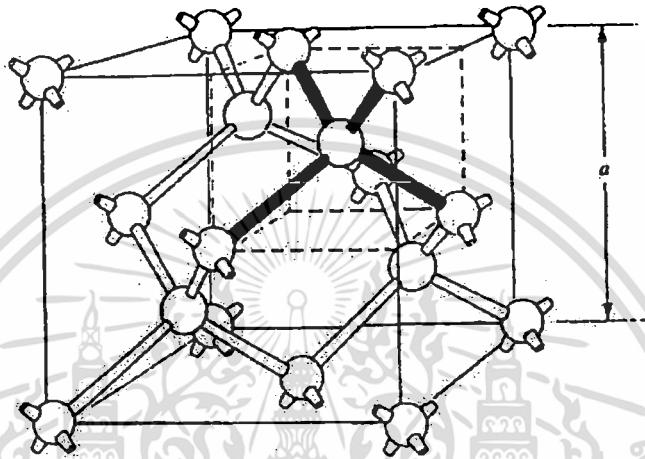
UV-A ช่วงคลื่น 315-400 นาโนเมตร ไม่ดูดกลืนโดยโอโซน แต่ส่วนมากไม่ทำลายสิ่งมีชีวิต รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถวัดได้ในรูปกำลังงานการแผ่รังสีตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่ (Irradiance) ที่ใช้หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) หรือในรูปพลังงานตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่ ในช่วงเวลาที่กำหนด (Radiant Exposure or dose) ใช้หน่วย จูลต่อตารางเมตร (J/m^2)

แสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นรังสีชนิดหนึ่งที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ แต่สำหรับผิวโลกรังสีอัลตราไวโอเล็ตตั้งแต่ช่วง UV-B ลงมาจะไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นโลกได้ เนื่องจากมีสารดูดกลืนโดยชั้นออกซิเจน โอโซน และก๊าซอื่นๆในชั้นบรรยากาศ แต่ในปัจจุบัน สาร CFC_s (Chlorofluorocarbons) และก๊าซบางชนิดที่ถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งมีผลกระทบต่อชั้น โอโซนของโลกทำให้เกิดรู (hole) ในชั้นบรรยากาศ เป็นเหตุให้แสงอัลตราไวโอเล็ตช่วง UV-B บางส่วนเริ่มทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมาได้ ทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้ในการตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ตจึงมีความสำคัญในการช่วยศึกษาและหาทางป้องกันปริมาณรังสีที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลกลงมาได้ นอกจากอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังมีประโยชน์ใช้งานด้านอื่นๆ อีกเช่น ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร และอุตสาหกรรม เป็นต้น

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ฟิสิกส์เพชร

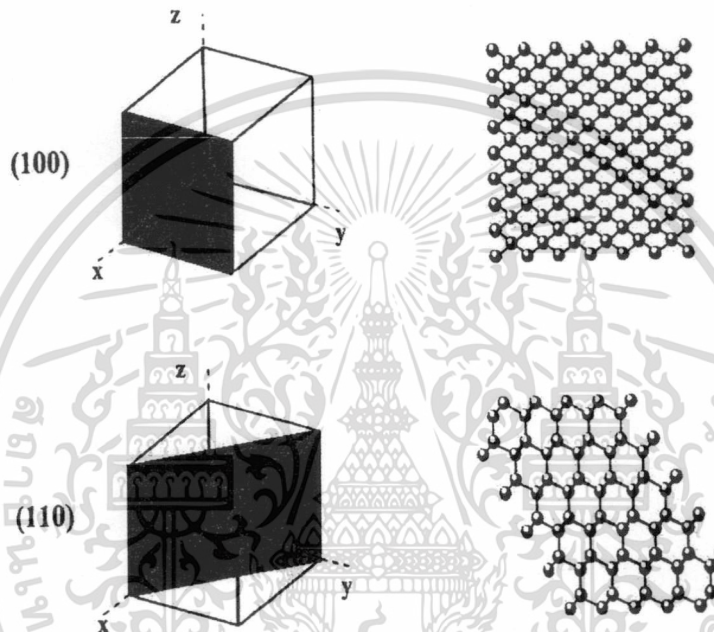
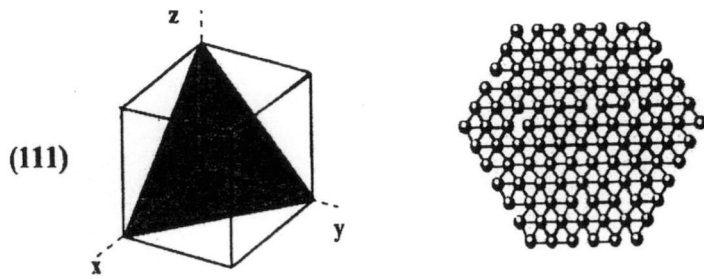
2.1.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกเพชร



รูปที่ 2.1 แบบจำลอง โครงสร้างผลึกเพชร

โครงสร้างของผลึกเพชรมีลักษณะเป็นแบบ face center cubic โดยที่อะตอมคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ โดยในหนึ่งยูนิตเซลล์ (unit cell) จะประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน 8 อะตอม ซึ่งมีลักษณะการยึดเหนี่ยวกันในรูปที่ 2.1 คือ $1/8$ ของอะตอมอยู่บริเวณมุมทั้งแปด อีก $1/2$ อะตอมอยู่ที่แต่ละหน้าของยูนิตเซลล์

เมื่อพิจารณาระนาบของผลึกเพชรสามารถเกิดการเรียงตัวได้หลายระนาบ เช่น ระนาบ(111) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็น สามเหลี่ยมซ้อนกัน ระนาบ (100) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระนาบ (110) จะมีลักษณะเหมือนอะตอมคาร์บอนในระนาบเดียวกันเรียงตัวเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าตัวอย่างระนาบของเพชรแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระนาบต่างๆ ของเพชร

2.1.2 คุณสมบัติต่างๆของเพชร

เพชรมีคุณสมบัติที่พิเศษกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆอยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติ ทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางแสง เป็นต้น โดยถ้าพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากเพชรมีการยึดเหนี่ยวของอะตอมเป็นแบบพันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่มีความแข็งแรงจึงทำให้เพชรมีความแข็งแรงสูง นอกจากนั้นยังมีความทนต่อการกัดของสารเคมีและมีความนำความร้อนสูง ในด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ โฮลและอิเล็กตรอน มีค่าสูง และเพชรยังมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำทำให้สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ส่วนคุณสมบัติทางแสงนั้นเพชรมีความกว้างช่องว่างแถบพลังงานสูงจึงมีความเหมาะสมในการนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างเป็น อุปกรณ์ตรวจวัดแสงความยาวคลื่นสั้น ซึ่งจะทำให้การรบกวนจากแสงช่วงตามองเห็นต่ำ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพชรกับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ [3]

คุณสมบัติ	เพชร	ซิลิคอน	แกลเลียมอาร์เซไนด์	เยอรมันเนียม
Thermal conductivity (W/cm-k)	20	1.5	0.455	0.28
Electron mobility (cm ² /V-s)	2,000	1,500	8,800	3,900
Hole mobility (cm ² /V-s)	1,800	600	400	1,900
Electron saturated velocity (cm/s)	2.7x10 ⁷	1x10 ⁷	1.2x10 ⁷	5x10 ⁶
Hole saturated velocity (cm/s)	1.05x10 ⁷	9x10 ⁶	1x10 ⁷	4x10 ⁶
Density of states effective mass				
Electron	0.57	1.1	0.068	0.55
Hole	1.2	0.8	0.5	0.37
Effective density of states				
Conduction band (cm ⁻³)	1x10 ¹⁹	2.8x10 ¹⁹	4.7x10 ¹⁷	1.04x10 ¹⁹
Valence band (cm ⁻³)	3x10 ¹⁹	1x10 ¹⁹	7x10 ¹⁸	6.0x10 ¹⁸
Breakdown field (V/cm)	10 ⁷	5x10 ⁶	3x10 ⁵	10 ⁴
Resistivity (Ωcm)	10 ¹⁶	10 ³	10 ⁸	10
Dielectric constant (ε)	5.7	11	12.5	15.8
Energy gap (eV)	5.45	1.1	1.42	0.72

2.1.3 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ปัจจุบันการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์ด้วยระบบ CVD แบบลวดความร้อน (Hot-Filament CVD), แบบคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Plasma CVD), แบบ ดีซี พลาสมา (DC Plasma CVD) และแบบคลื่นความถี่ (RF Plasma CVD) เป็นต้น

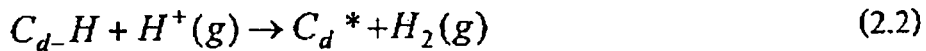
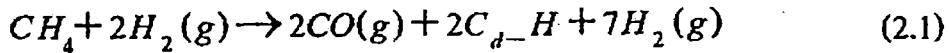
โดยในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD แบบลวดความร้อน ซึ่งไดอะแกรมระบบ CVD แสดงในรูปที่ 2.3 หลักการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรมีดังนี้

2.1.3.1 ในระบบต้องมีอะตอมคาร์บอน

เนื่องจากการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรจะใช้อะตอมคาร์บอนเป็นปัจจัยในการเกิดผลึกเพชร โดยสามารถใช้ก๊าซไฮโดรคาร์บอน หรือแอลกอฮอล์เป็นแหล่งจ่ายคาร์บอน ซึ่งนอกจากจะได้อะตอมคาร์บอนแล้ว ในส่วนก๊าซไฮโดรเจนยังมีส่วนสำคัญในการกำจัดคราไฟต์ ซึ่งปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน และอนุภาคคาร์บอนที่เหมาะสมจะทำให้การเกิดของเพชรมีคุณภาพที่ดี

2.1.3.2 การกระตุ้นก๊าซให้เกิดอนุภาคคาร์บอน

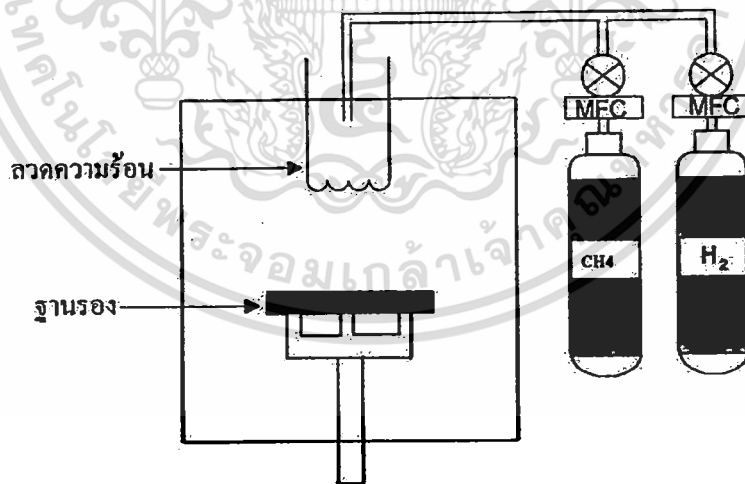
ในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยระบบ CVD แบบลดความร้อน การกระตุ้นก๊าซเฟส เพื่อให้แยกอะตอมของคาร์บอนออกมา นับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสังเคราะห์ฟิล์ม โดยเรา



จะใช้ความร้อนจากลดความร้อนทั้งสแตนเป็นตัวกระตุ้นให้อะตอมคาร์บอนแยกตัวออกจากอะตอมอื่นแล้วก่อตัวเป็นฟิล์มเพชรบนฐานรองที่เตรียมไว้ สมการเคมีแสดงการแตกตัวของก๊าซมีเทนแสดงในสมการที่ดังนี้

2.1.3.3 อุณหภูมิของฐานรองที่เหมาะสม

พิจารณาจากรูปที่ 2.3 อุณหภูมิของฐานรองนั้นเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากลดความร้อนไปยังฐานรอง ดังนั้นระยะห่างระหว่างไส้ลดความร้อนกับฐานรองจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของฐานรอง ซึ่งอุณหภูมิของฐานรองจะมีผลสำคัญในการกำหนดรูปผลึกของฟิล์มเพชร

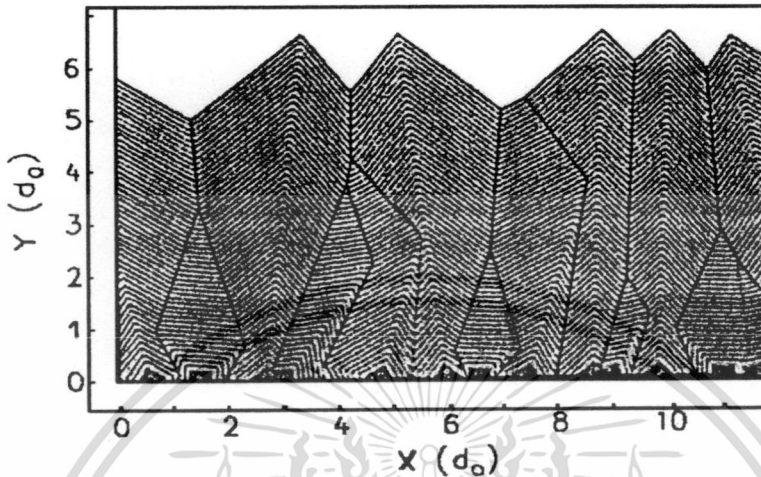


รูปที่ 2.3 ภาพไดอะแกรมระบบ CVD แบบลดความร้อน

2.1.3.4 การเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ฐานรอง (Substrate) มีความสำคัญมากต่อการเกิดนิวเคลียสของเพชร โดยสามารถเลือกฐานรองได้หลายชนิด เช่น ซิลิคอน อลูมินา โมลิบดีนัม เป็นต้น โดยทั่วไปมักใช้ ซิลิคอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรให้มีลักษณะเป็นเส้นรอยขีดข่วนทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดนิวเคลียสชั้นของผลึกเพชร พิล์มเพชรจะเริ่มดันเกิดที่รอยขีดก่อนจากนั้นจึงเริ่มขยายขึ้นเรื่อยๆ รูปที่ 2.4 แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์



รูปที่ 2.4 แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์

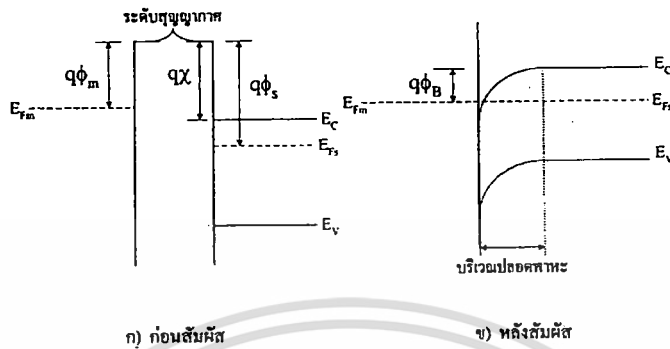
2.2 รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

ในการนำอุปกรณ์ประเภทโซลิดสเตต ไปใช้งานการสร้งรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ นับว่ามีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์โซลิดสเตตสู่โลกภายนอก ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำ ซึ่งแบ่งได้เป็นสองชนิด คือแบบเรกติไฟร์และแบบโอห์มมิก โดยจะอธิบายโดยใช้โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำทั้งก่อนและหลังนำมาสัมผัสกัน ซึ่งการรอยสัมผัสจะมีลักษณะเป็นแบบเรกติไฟร์และแบบโอห์มมิก นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าฟังก์ชันงาน (work function) ของโลหะและ อิเล็กตรอนแอฟฟินิตี (electron affinity) ของสารกึ่งตัวนำ และในหัวข้อถัดไปจะอธิบายถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการไหลของกระแสไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าในรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

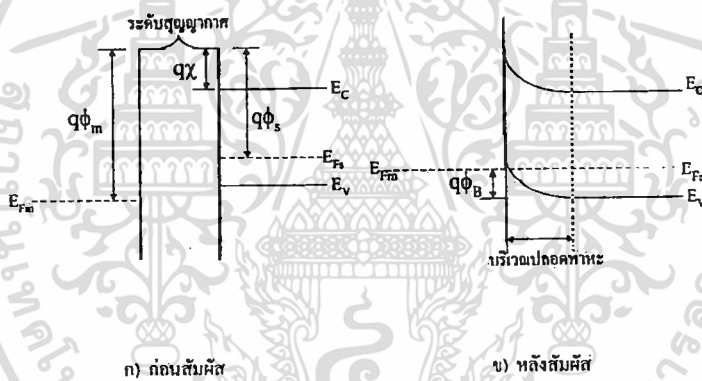
2.2.1 รอยต่อแบบโอห์มมิก

เมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติมีความนำสูงโดยสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ทั้ง 2 ทิศทาง เราเรียกรอยต่อแบบนี้ว่ารอยต่อแบบโอห์มมิก (ohmic contact) โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำทั้งก่อนนำมาสัมผัสและหลังนำมาสัมผัสแสดงในรูปที่ 2.5 สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N) และในรูปที่ 2.6 สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแถบพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแถบพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P)

พิจารณารูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยค่าฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อเรานำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยระดับเฟอร์มี (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กตรอนจากโลหะจะไหลผ่านรอยต่อเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดอ็อกซิเดชันขึ้นทางด้านโลหะและทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อขึ้น โดยการไหลอิเล็กตรอนจะหยุดลงเมื่อสนามไฟฟ้าภายใน มีค่าสูงพอที่จะสามารถต้านการแพร่ของอิเล็กตรอนได้และเป็นสภาวะสมดุล ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยต่อ โดยถ้าสังเกตจากรูปที่ 2.5 จะไม่มีกำแพงศักย์กั้นอิเล็กตรอนที่จะเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ กล่าวคือ

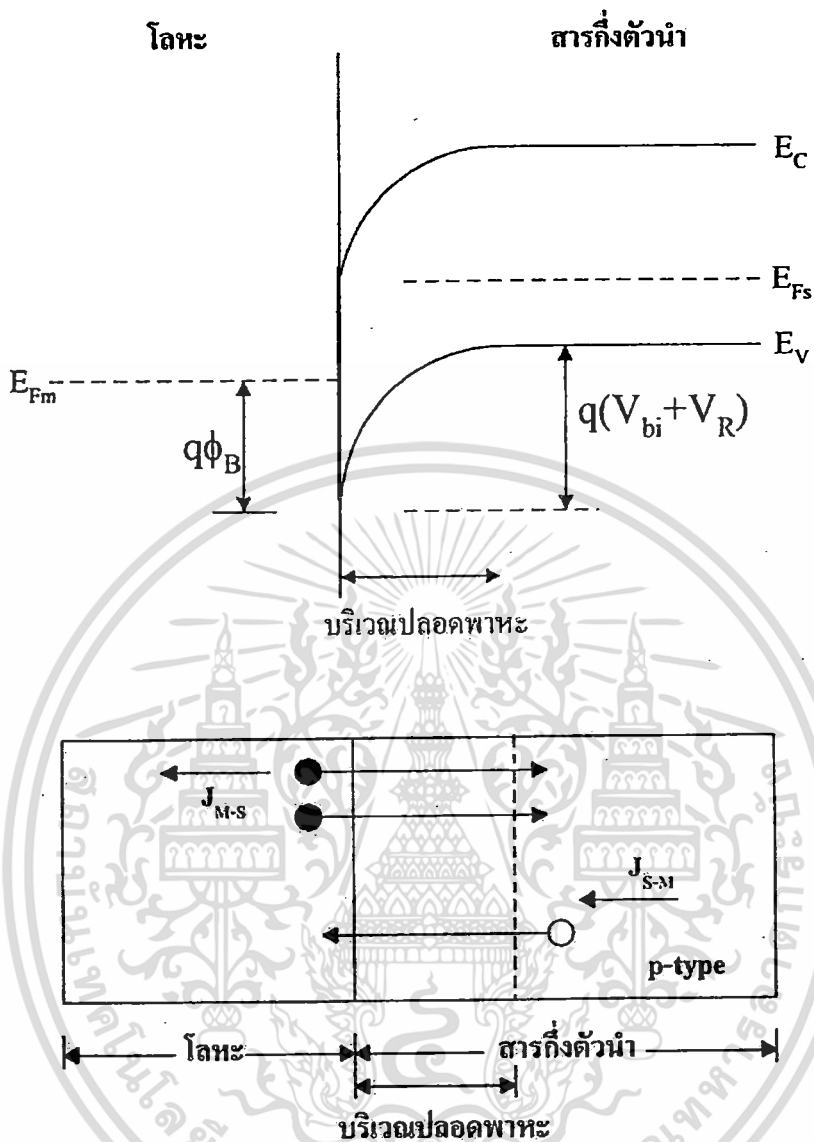
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้ทั้งสองทิศทาง และในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่มี $\phi_p < \phi_n$ ก็เกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกันกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

2.2.2 รอยต่อชนิดชอตต์กี

เมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว เราเรียกรอยต่อแบบนี้ว่ารอยต่อชอตต์กี (schottky contact) พิจารณาสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สถานะสมดุลโดยระดับเฟอร์มี (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กทรอนิกส์จากสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเข้าไปด้าน โลหะจึงทำให้เกิดอิเล็กตรอนบวกเกิดขึ้นที่สารกึ่งตัวนำและเกิดมีประจุลบขึ้นที่ทางด้าน โลหะ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดเป็นกำแพงศักย์กั้นจนไม่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน คืออยู่ในสถานะสมดุล ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีก็อธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์เดียวกัน และเมื่อนำโลหะกับสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะมีการถ่ายเทประจุพาหะจนกระทั่งอยู่ในสถานะสมดุล คือไม่มีการเคลื่อนที่ของประจุพาหะดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล แต่เมื่อให้ไบอัสแรงดันให้แก่รอยต่อจะมีผลให้โฮลที่เคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่สำหรับกำแพงศักย์ที่กั้นอิเล็กตรอนที่ไหลจากด้าน โลหะไปสารกึ่งตัวนำ ϕ_{ob} จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อให้ไบอัสไปข้างหน้า (forward bias) กับรอยต่อจะทำให้ค่า V_{bi} ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built in voltage) ลดต่ำลงและถ้าแรงดันไบอัสมีค่ามากพอ ($V_F \geq V_{bi}$) ก็จะทำให้ประจุพาหะโฮลสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปยังโลหะได้ ในทางตรงข้ามถ้าให้ไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) แก่รอยต่อก็จะทำให้ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงขึ้นดังนั้นโฮลซึ่งเป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในสารกึ่งตัวนำจะถูกขัดขวางด้วยกำแพงศักย์ที่มากขึ้นทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อไปยังด้านโลหะได้แบบจำลอง โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อ โลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสไปข้างหน้าและไบอัสย้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันแบบย้อนกลับ (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้สัถย์ลบและโลหะให้สัถย์บวก)

2.2.2.1 การไหลของกระแสไฟฟ้าในรอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

การไหลของกระแสไฟฟ้าในรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำแบบขอตัดก็ เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุพาหะส่วนมาก (majority carriers) โดยที่ทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรม การไหลของกระแสในรอยต่อแบบขอตัดก็อยู่หลายทฤษฎี แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวเฉพาะทฤษฎีที่ นิยมใช้กัน โดยทั่วไปซึ่งมีอยู่ 2 ทฤษฎีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีเทอร์มิออนิกอิมิสชัน(thermionic emission theory)

ความหนาแน่นของกระแส (current density) $J_{s \rightarrow m}$ ที่ไหลจากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$J_{s \rightarrow m} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.3)$$

ความหนาแน่นของกระแส (current density) $J_{m \rightarrow s}$ ที่ไหลจากโลหะไปยังสารกึ่งตัวนำ สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$J_{m \rightarrow s} = -A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \quad (2.4)$$

ความหนาแน่นกระแสรวมหาได้จากการรวมสมการที่(2.3) และสมการ (2.4) ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่นของกระแสรวมดังนี้

$$\begin{aligned} J &= \left\{ A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \right\} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \\ &= J_{ST} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$J_{ST} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \quad (2.6)$$

โดยที่ $A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3}$ คือ คงที่ ของริชชาร์ดสัน (Richardson constant)

J_{ST} คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มตัว(saturation current density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีดิฟฟิวชัน (diffusion theory)

สมการความหนาแน่นกระแสตามแบบทฤษฎีดิฟฟิวชัน แสดงได้ดังนี้

$$J = \left\{ q^2 D_p N_V \left[\frac{q(V_{bi} - V) 8\pi N_A}{\epsilon_s} \right]^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \right\} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$
$$= J_{SD} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

โดยที่

J_{SD} คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มตัว (saturation current density)

D_p คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮล (diffusion coefficient of holes)

N_V คือ ความหนาแน่นประสิทธิผลของสแตตโฮล (effective density of states of holes)

2.2.2.2 ความจุไฟฟ้าของรอยต่อโลหะและสารกึ่งตัวนำ

ความกว้างบริเวณปลอดพาหะในรอยต่อของโลหะและสารกึ่งตัวนำจะขึ้นอยู่กับค่าไบอัสแรงดันย้อนกลับ โดยถ้าให้สารกึ่งตัวนำชนิดพีมีความเข้มข้นอะตอมสารเจือ N_A มีพื้นที่รอยต่อ A ให้แรงดันไบอัสย้อนกลับ V_R จะเกิดบริเวณปลอดพาหะกว้าง W ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าได้ดังสมการ (2.8)

$$C = \frac{\epsilon_s \epsilon_0 A}{W} \quad (2.8)$$

หรือหาได้จากสมการ (2.9)

$$C = \frac{A}{\sqrt{\frac{2(V_{bi} - V_R)}{qN_A \epsilon_s \epsilon_0}}} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 ศักย์ไฟฟ้าภายในและค่าความสูงกำแพงศักย์ของรอยต่อชอตต์กี

พิจารณารอยต่อแบบชอตต์กีที่เกิดจากการนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี โดยที่ค่าฟังก์ชันงานของโลหะ (Φ_m) มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (Φ_s) เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาสัมผัสกันแล้วจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะของวัสดุทั้งสองจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุลคือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกัน โดยเมื่อนำสารกึ่งตัวนำและโลหะมาสัมผัสกันจะทำให้เกิดมีความต่างศักย์ตกคร่อมที่รอยต่อเช่นเดียวกับรอยต่อแบบพีเอ็น ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมรอยต่อขณะอยู่ในสถานะสมดุลความร้อนเราเรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าภายใน V_{bi} (built in voltage) ซึ่งเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำจะต้องเอาชนะเพื่อที่จะข้ามไปยังด้านโลหะ นอกจากนี้บริเวณรอย ต่อยังเกิดกำแพงศักย์ Φ_B (barrier height) กันอิเล็กตรอนจากด้านโลหะที่พยายามจะข้ามไปยังสารกึ่งตัวนำอีกด้วย V_0 คือ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานเฟอร์มิ กับระดับเวเลนซ์

การหาค่าศักย์ไฟฟ้าภายใน (V_{bi}) และค่าความสูงกำแพงศักย์ (Φ_B) สามารถคำนวณจากการวัดค่าความจุไฟฟ้าที่รอยต่อโดยอาศัยสมการดังนี้

$$\phi_B = V_0 + V_{bi} \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$V_0 = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_V}{N_A} \quad (2.11)$$

และ

$$N_A = \frac{2}{q\epsilon_s A^2 \left[\frac{d(1/C^2)}{dV} \right]} \quad (2.12)$$

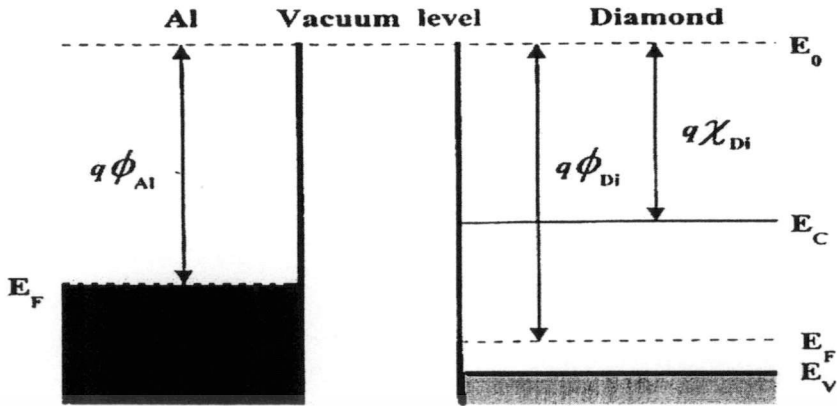
โดยค่า $d(1/C^2)/dV$ หาได้จากความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C^2$ กับแรงดันไบอัส V และค่าศักย์ไฟฟ้าภายใน V_{bi} หาได้จากจุดตัดของกราฟกับแกน X

2.2.2.4 โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อฟิล์มเพชรกับโลหะอลูมิเนียม

รอยต่อฟิล์มเพชรกับโลหะอลูมิเนียมจัดเป็นรอยต่อแบบชอตต์กีคือ เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาสัมผัสกันจะทำให้เกิดความต่างศักย์ตกที่รอยต่อและยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางเดียว

แผนภาพ โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อฟิล์มเพชรกับ โลหะอลูมิเนียมทั้งก่อนและหลังสัมผัสแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มเพชรและโลหะอลูมิเนียมทั้งก่อนและหลังนำมาสัมผัส

ก) ก่อนสัมผัส ข) หลังสัมผัส

2.3 พฤติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ

แสงและวัสดุมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเช่น วัสดุสะท้อนแสงได้ วัสดุดูดกลืนแสงได้ วัสดุหักเหแสงได้ วัสดุเปล่งแสงได้ เป็นต้น ดังนั้นการใช้งานของสิ่งประดิษฐ์ทางแสงจึงต้องใช้ปรากฏการณ์ต่างๆเหล่านี้เป็นหลักในการทำงาน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแสงและสารกึ่งตัวนำ เพื่อจะศึกษาพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างแสงกับสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำนับเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อสารกึ่งตัวนำดูดกลืนแสงแล้วจะทำให้เกิดประจุพาหะอิสระขึ้นซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางแสงให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า การดูดกลืนแสงสามารถอธิบายด้วยสมการทางฟิสิกส์ที่พิจารณาว่าโฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ จะลดลงกับระยะทางที่เข้าไปข้างในสารกึ่งตัวนำ โดยจะลดลงอย่างเอ็กโพเนนเชียลและสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ

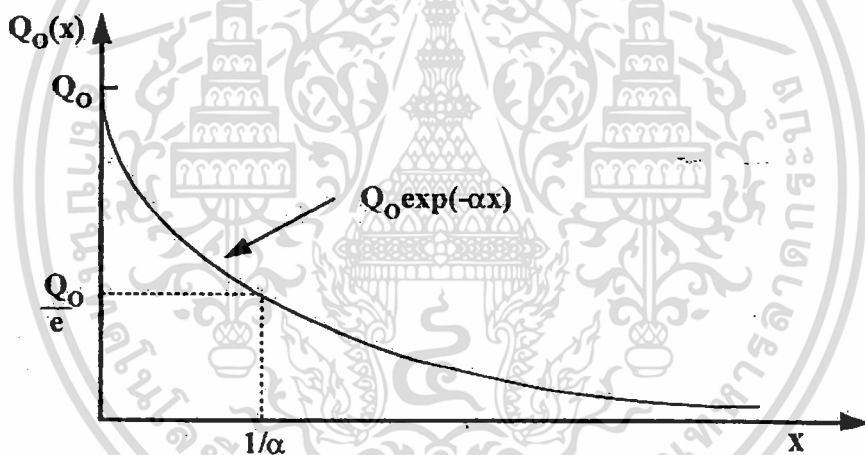
$$Q(x) = Q_0 \exp(-\alpha x) \quad (2.13)$$

โดยที่

$Q(x)$ คือ โฟตอนฟลักซ์ที่ความลึก x จากผิวสารกึ่งตัวนำ

Q_0 คือ โฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านผิวสารกึ่งตัวนำเข้าไปด้านใน ($\text{photo.cm}^{-2}.\text{sec}^{-1}$)

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (cm^{-1})



รูปที่ 2.10 การลดลงของโฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำปริมาณของโฟตอนฟลักซ์ที่ลดลงเกิดจากการดูดกลืนโฟตอนภายในสารกึ่งตัวนำ

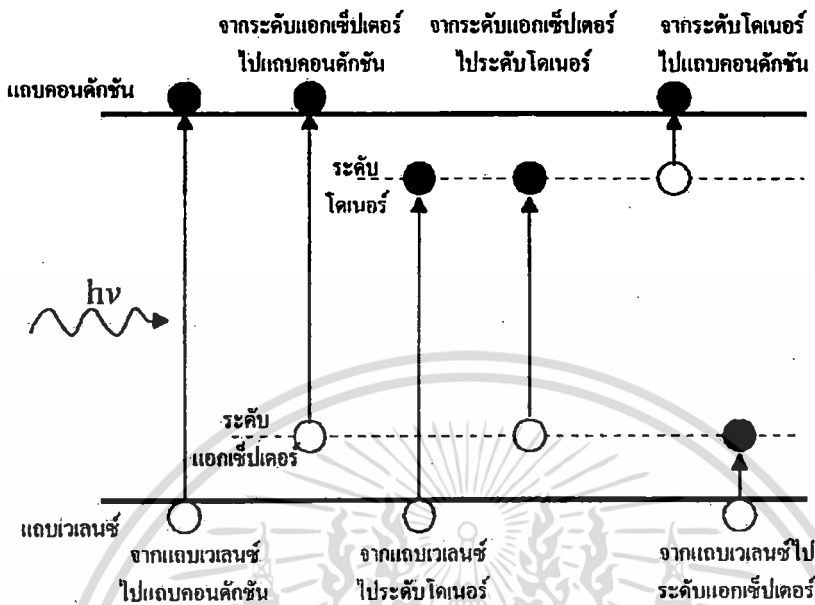
และรูปที่ 2.10 การลดลงของโฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ โดยส่วนกลับของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงคือระยะทางที่โฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำแล้วมีค่าลดลง $1/e$ เท่าของค่าเริ่มต้น

2.3.2 การดูดกลืนแสงในช่องว่างแถบพลังงาน

การดูดกลืนแสงในช่องว่างแถบพลังงานหรือการดูดกลืนแสงแบบเอ็กทรินซิกเป็นการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานภายในช่องว่างแถบพลัง เมื่อเติมสารเจือปนหรืออะตอมแปลกปลอมเข้าสู่ผลึกสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดระดับพลังงานต่างๆ ขึ้นในแถบ พลังงานต้องห้าม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เราเรียกระดับช่องว่างในแถบพลัง (gap state) โดยระดับในช่องว่างแถบพลังงานเหล่านี้สามารถเป็นศูนย์กลางของการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนที่ดูดกลืนแสงได้ด้วย



รูปที่ 2.11 แสดงการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ในช่องว่างแถบพลังงาน

โดยปกติอะตอมสารเจือที่เติมเข้าไปจะมีพลังงานกระตุ้น (activation energy) น้อยกว่าช่องว่างแถบพลัง (E_g) ดังนั้น โฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่าขอบของการดูดกลืนแสงจากพื้นฐานจึงสามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากระดับสารเจือไปยังแถบคอนดักชันได้ในกรณีของอะตอมสารเจือโคเนอร์หรืออะตอมสารเจือผู้ให้ และสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ไปยังระดับสารเจือในกรณีของสารเจือแอกเซ็ปเตอร์หรือสารเจือผู้รับ ดังนั้นการดูดกลืนแสงแบบนี้จึงเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดกลืนพลังงานโฟตอน 2 แบบ คือการดูดกลืนพลังงานโฟตอน โดยอะตอมสารเจือในสารกึ่งตัวนำและสารดูดกลืนโฟตอน โดยเวเลนซ์อิเล็กตรอน

2.3.3 การดูดกลืนแสงด้วยเอกซิทรอน

ในสารกึ่งตัวนำการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดไปสู่แถบคอนดักชันและเหลือโฮลไว้ในแถบเวเลนซ์นั้น บางครั้งถ้าการกระตุ้นมีพลังงานไม่เพียงพอ อาจทำให้อิเล็กตรอนและโฮลยังคงมีแรงผูกมัดกันและกันให้เป็นคู่อยู่เรียกว่าเอกซิทรอน (exciton) เอกซิทรอนเป็นคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่ไม่เป็นอิสระแต่อยู่ในสภาพจับคู่กัน เกิดขึ้นเพราะพลังงานโฟตรอนของแสงไม่สูงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนและโฮลเป็นอิสระต่อกัน ถ้าสังเกตดูการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดเอกซิทรอนจะพบว่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงมีรูปยอดแหลมและมีพลังงานโฟตอนน้อยกว่าขนาดของช่องว่างเล็กน้อย

2.3.4 การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนอิสระ

อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในแถบคอนดักชันในโลหะหรือสารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับพลังงานจากแสงจะถูกเร่งให้โมเมนตัมมีค่าเพิ่มขึ้น จึงเกิดการดูดกลืนแสงและอิเล็กตรอนก็มีพลังงานเพิ่มขึ้นเราเรียกการดูดกลืนแสงชนิดนี้ว่า การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนอิสระ (free electron absorption หรือ free carrier absorption) การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นแสงยาวมากๆ

2.3.5 การดูดกลืนแสงด้วยโพลาริเซชันในวัสดุไดอิเล็กตริก

การวางวัสดุไดอิเล็กตริกไว้ในสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดการแตกขั้วเป็นโพลาริเซชัน (polarization) และถ้าสนามไฟฟ้ามีการกลับขั้วไปมากก็จะทำให้โพลาริเซชันนั้นสั่นตามและเกิดการดูดกลืนพลังงานจากสนามไฟฟ้าได้ เนื่องจากแสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีสนามไฟฟ้าอยู่ในตัว ดังนั้นแสงจึงถูกโพลาริเซชันในวัสดุไดอิเล็กตริกดูดกลืนได้ ย่านความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนจะมีค่าเท่าไรนั้นจะขึ้นกับชนิดของโพลาริเซชันว่าเป็นชนิดใด

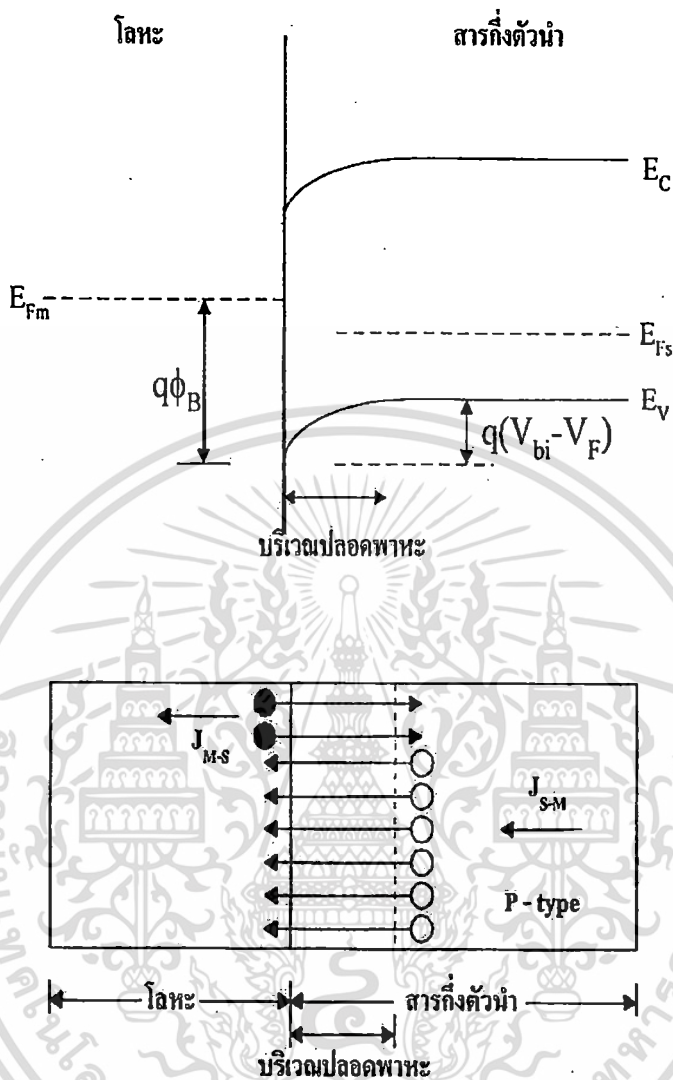
2.3.6 การดูดกลืนแสงด้วยการสั่นของโครงผลึก

ตามปกติอะตอมที่ประกอบกันเป็นวัสดุนั้น ณ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ไม่ได้อยู่นิ่งเฉย แต่จะมีการสั่นรอบๆตำแหน่งสมดุลเสมอ และถ้าเป็นอะตอมที่มีขั้วไฟฟ้าแบบไอออนอยู่บ้าง ก็จะทำให้ไอออนบวกและลบสั่นสลับข้างกัน เมื่อเป็นเช่นนั้นถ้ามีแสงมาตกกระทบวัสดุเช่นนี้ แสงที่มีความถี่เท่ากับการสั่นของไอออนก็จะถูกวัสดุนั้นดูดกลืน

2.4 อุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

การตรวจจับหรือวัดแสงมีส่วนสำคัญมากในการนำแสงมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากแสงมีความยาวคลื่นต่างๆ และมีความเข้มแสงมากน้อยต่างกันตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นการคิดค้นและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดแสงให้มีความเหมาะสมกับย่าน ความยาวคลื่นที่ใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำแสงมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยหลักสำคัญของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ดีคือให้การตอบสนองที่ดีกับแสงความยาวคลื่นย่านที่ต้องการใช้งานและให้การตอบสนองที่ดีกับความยาวคลื่นแสงในช่วงอื่น

นอกจากนั้นยังควรมีการตอบสนองเชิงเวลาที่เร็ว มีสัญญาณรบกวนต่ำ ใช้แรงดันไบอัสต่ำ มีความเสถียรกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง มีขนาดเล็ก และราคาประหยัด ทั้งนี้คุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจะขึ้นกับวัสดุที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงและลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์



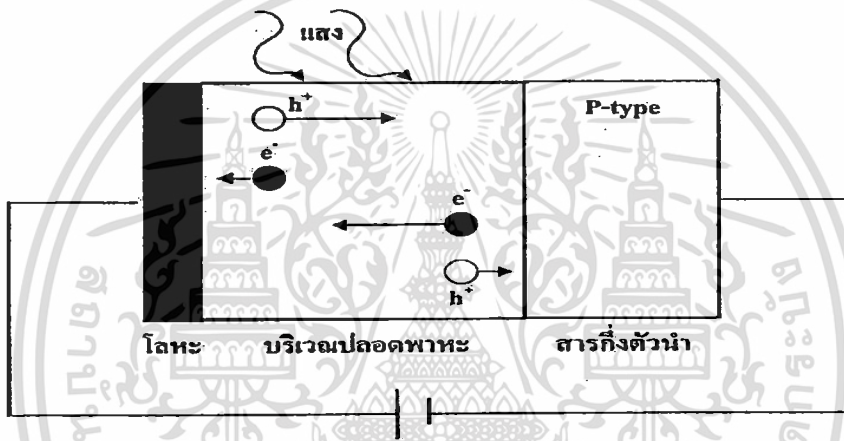
รูปที่ 2.7 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและโลหะให้ศักย์ลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียด อุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเป็น สิ่งประดิษฐ์ตรวจวัดแสงประเภท โฟโตอิเล็กทรอนิกส์แบบภายในที่มีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ โดยเมื่อมี แสงตกกระทบบริเวณรอยต่อจะเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น

2.4.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสง อินพุตเป็นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ โดยพลังงานโฟตอนของแสงมีค่า มากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ($h\nu \geq E_g$) แสงก็จะถูกดูดกลืนและพลังงานโฟตอน ของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบเวเลนซ์ไปสู่แถบคอนดักชันและเหลือโฮลไว้ ที่แถบเวเลนซ์สนามไฟฟ้าจากรอยต่อจะพัดพาอิเล็กตรอนและโฮลไปยังโลหะและสารกึ่งตัวนำทำ ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์ม เพชร



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

กระแสไฟฟ้าโฟโต (I_p) ที่เกิดจากประจุพาหะอิสระเนื่องจากแสงเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า สามารถหา ได้จากผลต่างของกระแสไฟฟ้าวัดย้อนกลับขณะได้รับการฉายด้วยแสง (I_L) กับกระแสไฟฟ้า มีด (I_d) ดังนั้น $I_p = I_L - I_d$ โดยที่กระแสไฟฟ้าโฟตอนหาได้จากสมการ

$$I_p = \frac{\eta q P_{op}}{h\nu} \quad (2.14)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพควันตัม (quantum efficiency) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนพาหะ ที่เดินทางไปถึงขั้วไฟฟ้าต่อจำนวน โฟตอนตกกระทบ

สำหรับกระแสไฟฟ้ามืดของชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเกิดได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_d = I_{d-G-R} + I_{d-diffusion} + I_{d-surface} \quad (2.15)$$

เมื่อ

$I_{d-surface}$ คือ กระแสไฟฟ้ามืดที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ารั่วที่บริเวณผิว(surface leakage)

I_{d-G-R} คือ กระแสไฟฟ้ามืดที่เกิดจากการกำเนิดและรวมตัวของพาหะ(generation and recombination)

โดยที่

$$I_{d-G-R} \propto \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

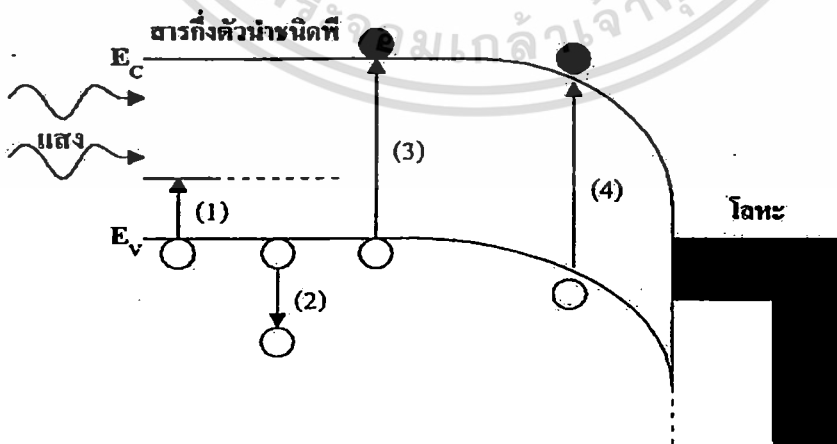
$I_{d-diffusion}$ คือ กระแสไฟฟ้ามืดที่เกิดจากการแพร่ของประจุพาหะ

โดยที่

$$I_{d-diffusion} \propto \exp\left(\frac{-E_g}{kT}\right)$$

2.4.2 กลไกการดูดกลืนแสงและการเกิดกระแสไฟฟ้า

เมื่อมีแสงมาตกกระทบบสารกึ่งตัวนำและมีการไบอัสย้อนกลับที่รอยต่อ จะเกิดกลไกการดูดกลืนแสงในลักษณะต่างๆตามหมายเลข ในรูปที่ 2.13 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 กลไกการดูดกลืนแสงแบบต่างๆในรอยต่อขอตัก์โฟโตไดโอดซิลิโคน (ไบอัสย้อนกลับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เป็นการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำระหว่างแถบเวเลนซ์และระดับแอกเซ็ปเตอร์ แต่ในที่สุดประจุพาหะอิเล็กตรอนส่วนใหญ่ก็จะตกลงมารวมกันที่โฮล จึงทำให้ไม่มีผลต่อกระแสเอาต์พุตมากนัก

2) เป็นการดูดกลืนแสงโดยโฮลอิสระ (free hole absorption) ในแถบเวเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำ โดยเพียงแต่ระดับพลังงานของโฮลจะลดลงและระดับพลังงานของอิเล็กตรอนสูงขึ้น จึงไม่ก่อให้เกิดกระแสเอาต์พุต

3) เป็นการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำที่ตำแหน่งใกล้เคียงบริเวณปลอดพาหะมาก โดยพาหะอิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนน้อยมีความน่าจะเป็นสูงในการแพร่ซึมเข้าไปในบริเวณชั้นปลอดพาหะ และอิเล็กตรอนจะถูกสนามไฟฟ้าในชั้นปลอดพาหะพัดให้ไหลไปสู่ชั้นโลหะ ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีผลต่อกระแสเอาต์พุต

4) เป็นการดูดกลืนแสงและผลิตคู่อิเล็กตรอนและโฮลในชั้นปลอดพาหะ โดยอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นจะถูกสนามไฟฟ้าในชั้นปลอดพาหะพัดแยกจากกันให้ไหลไปยังโลหะและสารกึ่งตัวนำตามลำดับ ซึ่งการดูดกลืนแสงชนิดนี้จะมีผลต่อกระแสเอาต์พุตมากที่สุด

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

การที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะมีประสิทธิภาพการทำงานสูงนั้นนอกจากจะขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์แล้ว การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ก็เป็นส่วนที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบ โครงสร้างแล้ววิธีการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบชอตต์กีไดโอดฟิล์มเพชร ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบชอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

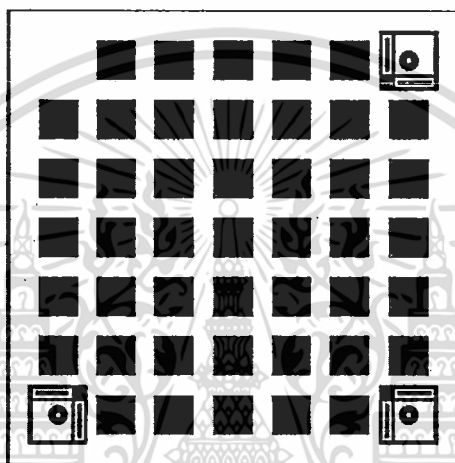
รอยต่อชอตต์กีเกิดจากการสัมผัสระหว่าง โลหะและสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว โดยเมื่อให้ไบอัสย้อนกลับแก่รอยต่อจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้น ซึ่งบริเวณปลอดประจุพาหะนี้มีความสำคัญมากในการรับแสงแล้วทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้น โดยประจุพาหะทั้งสองชนิดจะถูกปิดไปยังขั้วโลหะทั้งสองด้วยความต่างศักย์ภายในบริเวณรอยต่อ การออกแบบให้มีบริเวณปลอดพาหะมีความกว้างมากๆจะทำให้ได้ปริมาณของกลุ่มประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากแสงเพิ่มขึ้น ฟิล์มเพชรมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ซึ่งมีเส้นพรมแดนของผลึก (grain boundaries) จำนวนมาก ดังนั้นอุปกรณ์ทางแสงแบบพลาณา (planar) ที่สร้างบนฟิล์มเพชรจะประสบปัญหาของกลุ่มอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากแสงต้องเดินทางผ่านเส้นพรมแดนของผลึก ทำให้เกิดการลดลงของปริมาณประจุพาหะและทำให้เวลาตอบสนองของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากประจุพาหะต้องใช้เวลาในการเดินทางผ่านเส้นพรมแดนของผลึก ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบชอตต์กีไดโอดฟิล์มเพชร ในรายงานฉบับนี้จึงออกแบบให้อุปกรณ์ทำงานในแนวตั้งซึ่งเป็นทิศทางขนานไปกับเส้นพรมแดนของผลึกทำให้สามารถลดอิทธิพลของเส้นพรมแดนของผลึกที่มีต่อทิศทางการเดินของกระแสไฟฟ้าได้ และนอกจากนี้การออกแบบให้มีบริเวณปลอดพาหะมีความกว้างใกล้เคียงกับขนาดของผลึก (grain size) จะทำให้ประจุพาหะอิสระที่เกิดจากแสงในบริเวณรอยต่อเคลื่อนที่ไปยังขั้วโลหะโดยไม่ผ่านเส้นพรมแดนผลึกซึ่ง เสมือนว่าประจุพาหะเดินทางในโครงสร้างแบบผลึกเดี่ยว (single crystalline)

มาร์คที่ใช้ในการสร้างชุดคีย์โฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

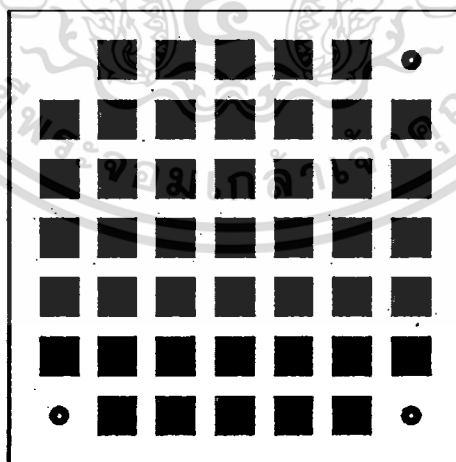
ในการทดลองเราใช้มาร์คในการสร้างทั้งหมด 2 มาร์ค ประกอบด้วยมาร์คไดอะแฟรม และ มาร์คข้าวโลหะ

1. มาร์คไดอะแฟรม

การทดลองเราออกแบบชุดคีย์ไดโอดฟิล์มเพชรให้มีพื้นที่รอยต่อชุดคีย์ ดังนั้นในการออกแบบมาสก์ไดอะแฟรมจึงต้องออกแบบขนาดความกว้างและยาว (W_x x W_y) ให้มีขนาด 2391x2391 ไมครอนตาม รายละเอียดวิธีการออกแบบไดอะแฟรมแสดงในหัวข้อต่อไป รูปที่ 3.1 แสดงมาร์คไดอะแฟรม



ก. ด้านหน้า



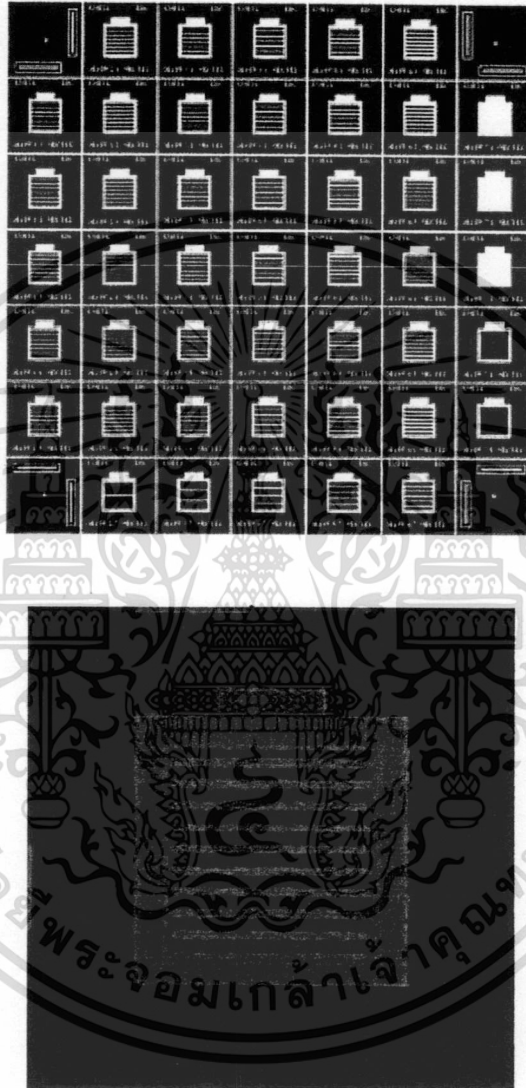
ข. ด้านหลัง

รูป 3.1 มาร์คไดอะแฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

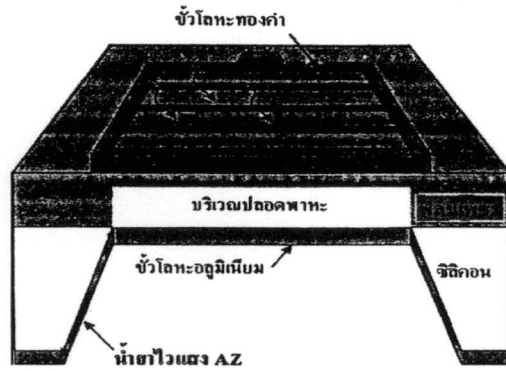
2. มาร์คซ์วโลหะ

การทดลองเราออกแบบมาร์คซ์วโลหะให้มีระยะห่างระหว่างขั้วโลหะด้านบน (G) และมีขนาดของขั้วโลหะ (W) ในการทดลองเราออกแบบให้ขอตัดกึ่งไดโอดฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่ขั้วไฟฟ้า ($L_1 \times L_2$) 100*100 ไมครอน รูปที่ 3.2 แสดงมาร์คการสร้างอุปกรณ์ขอตัดกึ่งโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร และรูปที่ 3.3 แสดงภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ขอตัดกึ่งโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร



รูป 3.2 มาร์คซ์วโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.3 ภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ขอต็ค์ทีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

3.2 การออกแบบไดอะแฟรม

โครงสร้างของอุปกรณ์ขอต็ค์ทีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรประกอบด้วยไดอะแฟรมบางของฟิล์มเพชรเป็นส่วนสำคัญ ด้วยเหตุนี้การกัดซิลิกอนบางส่วนออกเพื่อให้เหลือเป็นไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ ไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรเกิดจากการกัดฐานรองซิลิกอนระนาบ (100) ออกโดยสารละลายที่มีลักษณะการกัดเป็นแบบแอนไอโซทรอปิก (anisotropic) คือการกัดที่ตัวกัด (etching) ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายจะกัดเนื้อสารในทิศทางหรือระนาบต่างๆ ของผลึกไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูป 3.4

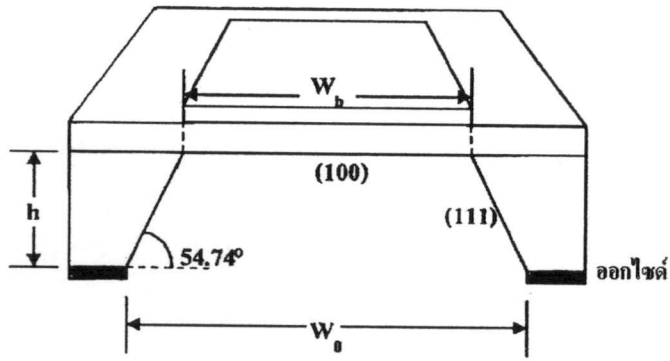
ดังนั้นการออกแบบปากหลุมจึงมีความสัมพันธ์กับความกว้างของก้นหลุม ถ้าเปิดปากหลุมกว้างเท่ากับ W_0 และทำการกัดได้ลึกเท่ากับ h จะได้ขนาดความกว้างก้นหลุม W_b ดังสมการ

$$W_b = W_0 - \frac{2h}{\tan(54.74^\circ)} \cong W_0 - \sqrt{2}h \quad (3.1)$$

ถ้าต้องการความกว้างก้น 2000 ไมครอน และแผ่นซิลิกอนมีความหนา 430 ไมครอนดังนั้นต้องเปิดปากหลุมเท่ากับ $W_0 = 2000 + \sqrt{2}(430) = 2391$ ไมครอน

ในการทดลองเราใช้สารละลายที่เกิดจากการผสมระหว่างเอธิลีนไดอะมีน (Ethylenediamine) กับไพโรแคตทอล (Pyrocatechol) และน้ำบริสุทธิ์ (DI water) หรือที่นิยมเรียกว่า EPD โดยมีอัตราส่วน E 50 ml : P 8 กรัม : DI 16 ml ทำการกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กวนสารละลายด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที มีอัตราการกัดซิลิกอนประมาณ 1.50 ไมครอนต่อนาที ใช้ชั้นออกไซด์หนาประมาณ 7000 อังสตรอม เป็นชั้นป้องกันการกัดซิลิกอน โดยสารละลาย EPD จะไม่กัดฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.4 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก

3.3 ขั้นตอนกระบวนการสร้าง

3.3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ฟิล์มเพชรถูกสังเคราะห์บนฐานรองซิลิคอนด้วยวิธีการ CVD แบบลวดความร้อนที่ความดันต่ำ รูปที่ 3.5 แสดงภาพถ่ายเครื่องสร้างฟิล์มเพชร ฟิล์มเพชรที่สร้างบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้แหล่งจ่ายเป็นไฮโดรเจนของมีเทน (CH_4) กระตุ้นก๊าซเพลสเพื่อให้อะตอมของคาร์บอนออกมา



รูปที่3.5 ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสง โครงสร้างแบบขอตต์กีไดโอดฟิล์มเพชร

3.3.2.1 แผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

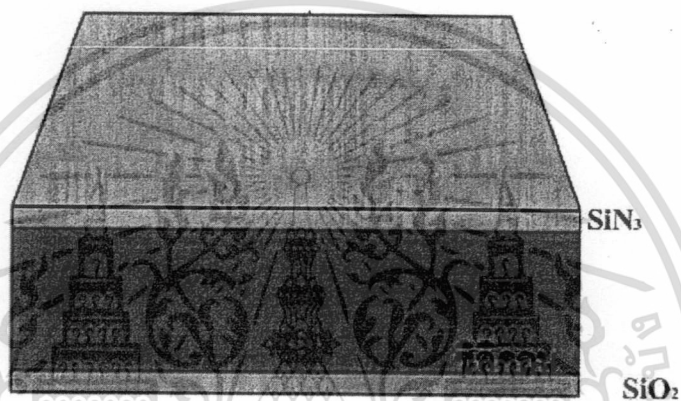
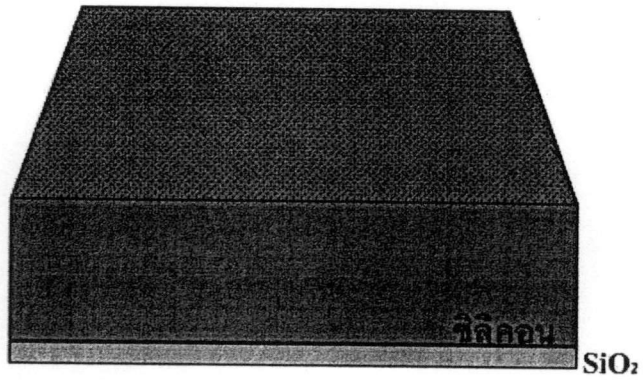
นำแผ่นซิลิคอนระนาบ 100 ตัดให้ได้ขนาดกว้าง 2.3 เซนติเมตรและยาว 2.3 เซนติเมตร และทำความสะอาดพื้นผิวด้วย จากนั้นสร้างชั้นออกไซด์แบบ DRY 6 ชั่วโมงหนาประมาณ 2,000 อังสตรอมที่ความร้อน 1000 °C เพื่อเป็นชั้นป้องกันการกัดด้วยสารเคมีในขั้นตอนการสร้างไดอะเฟรม



รูปที่ 3.3.2.1 แผ่นซิลิคอนเริ่มต้นและสร้างชั้นออกไซด์

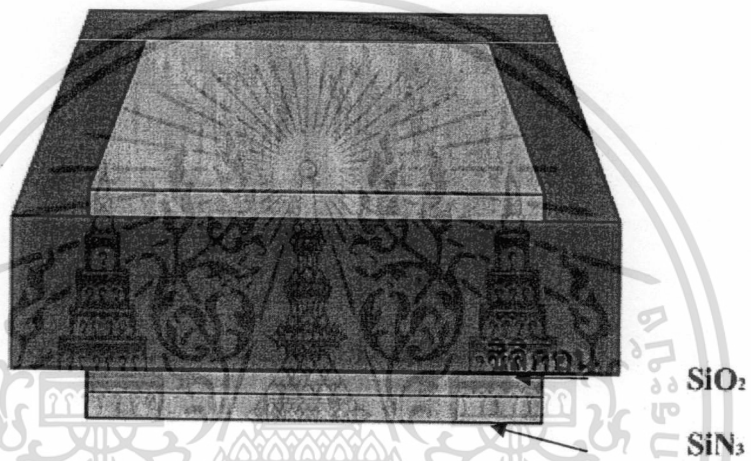
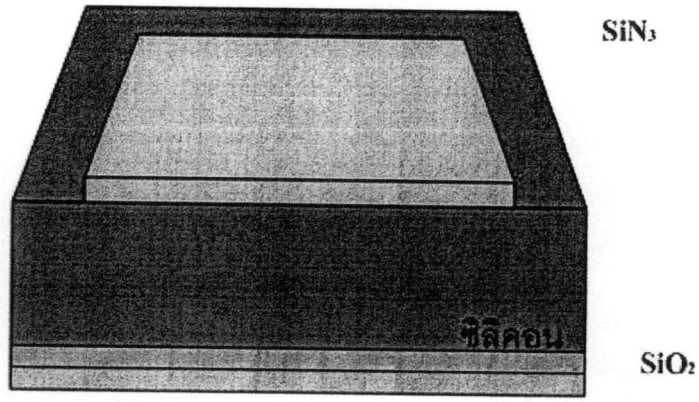
3.3.2.2 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

แผ่นซิลิคอนที่สร้างชั้นออกไซด์ถูกนำมาลอกชั้นออกไซด์ด้านหน้าซิลิคอนที่ผิวขัดมันออก จากนั้นขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน แล้วจะนำแผ่นซิลิคอนมาสร้างซิลิคอนไนไตรด์และทำมาร์คปิดเพื่อป้องกันส่วนที่ขัดเป็นรอย ทำแบบนี้ทั้งข้างบนและข้างล่าง จากนั้นสร้างออกไซด์แบบ DRY 1 ชั่วโมงและ WET 12 ชั่วโมง ความหนา 14,000 Å หลังจากนั้นทำการกัดไนไดออกไซด์ออก แล้วนำไปสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยเครื่อง CVD แบบลวดความร้อนให้ได้ความหนาฟิล์มเพชร 4-5 ไมครอน ใช้เวลา 5 ชั่วโมง

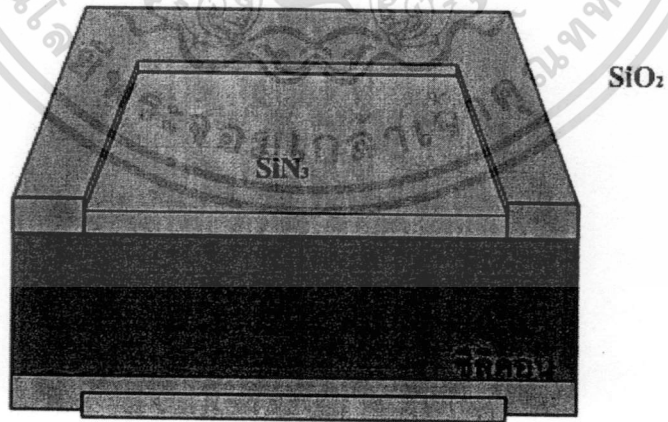


ก) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

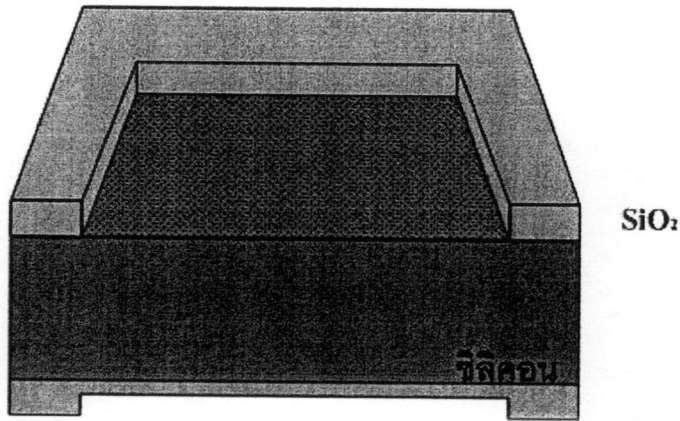


รูปที่ 3.3.2.2 สร้างชั้นไนไตรด์ และปิดมาร์คด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 3.3.2.2 สร้างชั้นออกไซด์เพิ่ม

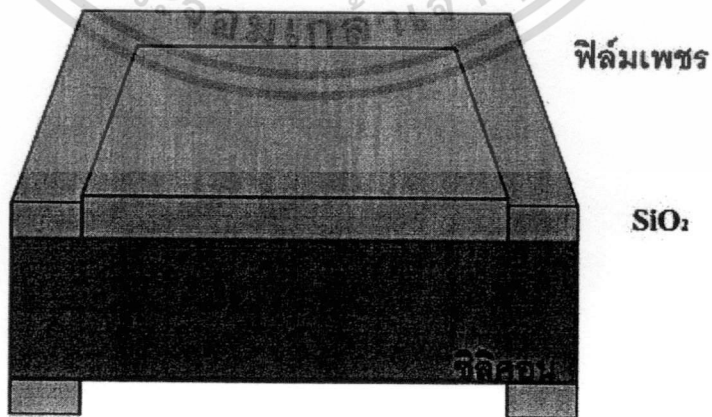
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2.2 ทำความสะอาด เอาชั้นไนโตรออก



รูปที่ 3.3.2.2 สร้างฟิล์มเพชร

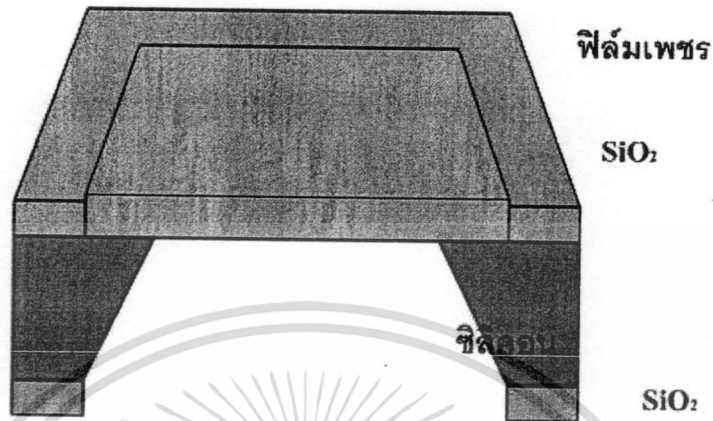


รูปที่ 3.3.2.2 กัดออกไซด์ด้านข้างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 การกัดไดอะแฟรม

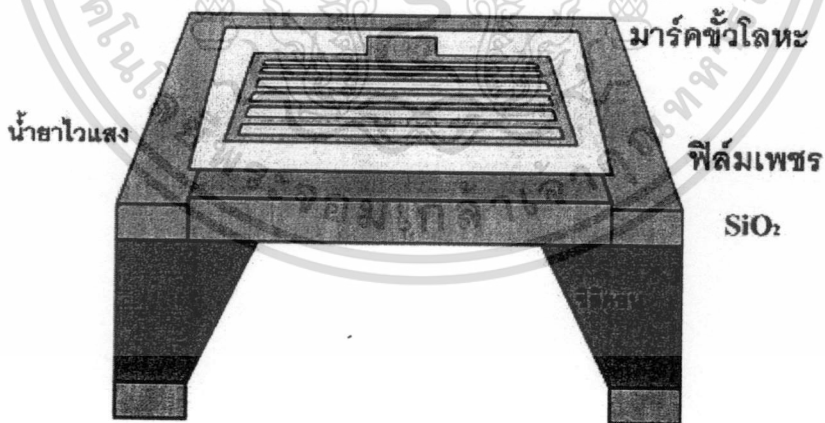
นำฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้มากัดไดอะแฟรมตามที่ออกแบบไว้ด้วยสารละลาย EPD โดยมีชั้นออกไซด์เป็นตัวป้องกันส่วนที่ไม่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยาการกัด



รูปที่ 3.3.2.3 กัดซิลิโคนออกเหลือแต่ไดอะแฟรมฟิล์มเพชร

3.3.2.4 การเคลือบโลหะทองคำ

นำฟิล์มเพชรที่สร้างได้จากข้อ 3.3.2.4 มาสร้างขั้วไฟฟ้าทองคำด้วยเครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ โดยอาศัยเทคนิคโฟโตลิโธกราฟีใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ เป็นตัวป้องกันเพื่อให้ได้ลวดลายตามที่ได้ออกแบบไว้

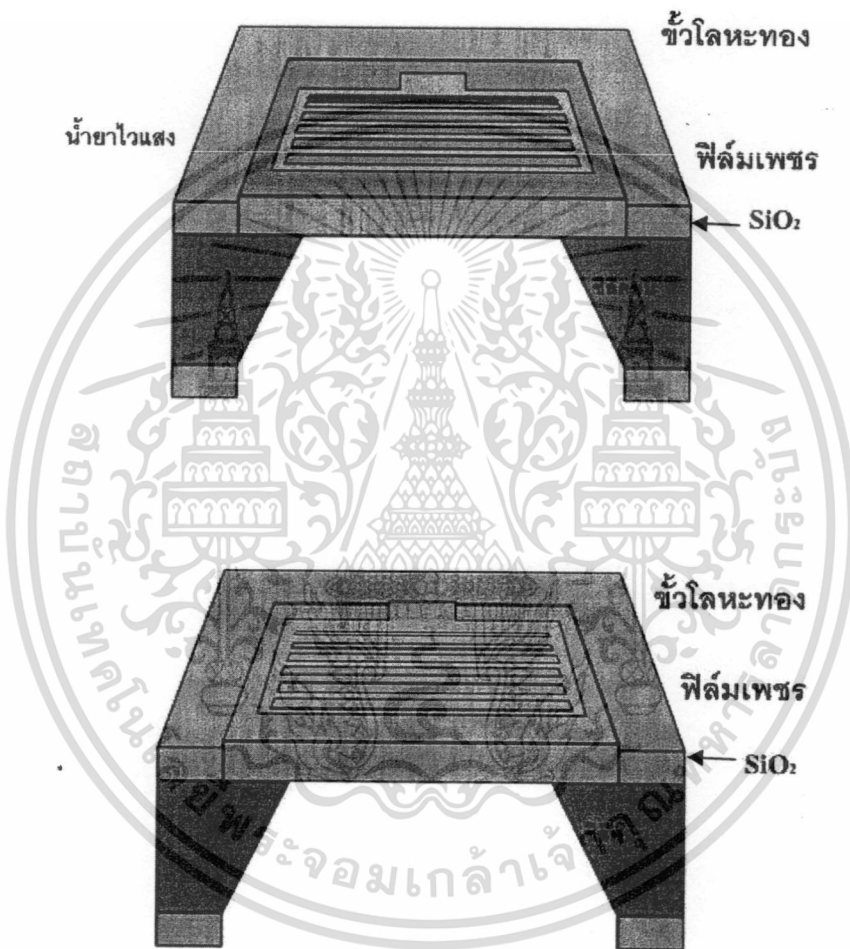


รูปที่ 3.3.2.4 เทคนิคโฟโตลิโธกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 การลอกชั้นน้ำยาไวแสง

นำฟิล์มเพชรที่เคลือบโลหะทองแล้ว มาลอกชั้นน้ำยาไวแสง AZ ออกด้วยวิธีลิฟออฟโดยใช้สารเคมีอะซิโตนเป็นตัวทำปฏิกิริยาซึ่งจะได้ขี้โลหะทองเป็นลวดลายตามที่ต้องการ จากนั้นนำไปซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3.3.2.5 การลอกชั้นน้ำยาไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 การเคลือบโลหะอลูมิเนียม

นำฟิล์มเพชรที่กัดเป็นไดอะแฟรมเรียบร้อยแล้วมาสร้างรอยต่อขอตักที่บริเวณด้านล่าง โดย
ใช้วิธีการเคลือบโลหะอลูมิเนียมในสุญญากาศ จากนั้นนำไปขึ้นเตอร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 ลิตร ต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

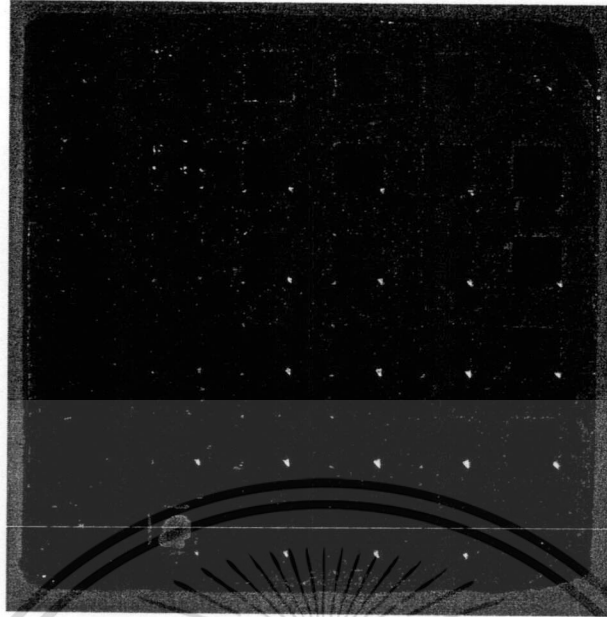


รูปที่ 3.3.2.6 อุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างเสร็จแล้ว

รูป 3.6 ภาพจำลองขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



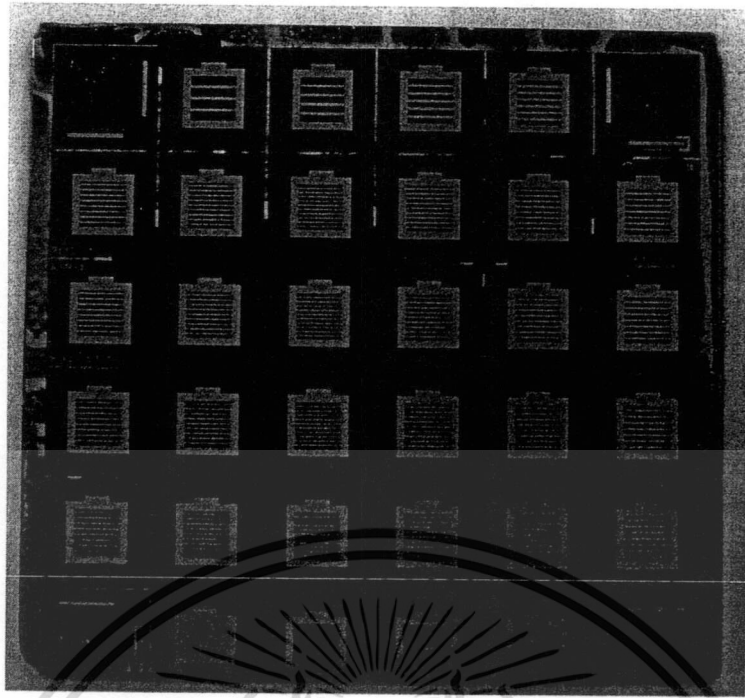
ข. ด้านหลัง

รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายไดอะแฟรมฟิล์มเพชรที่เกิดจากการกระตุ้นรองชนิดคอนด้วยสารละลาย EPD



ก. อุปกรณ์เคี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) อุปกรณ์ขอตดักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรสร้างบนฟิล์มเพชรขนาด $1.2 \times 1.5 \text{ cm}^2$

รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์ขอตดักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างได้

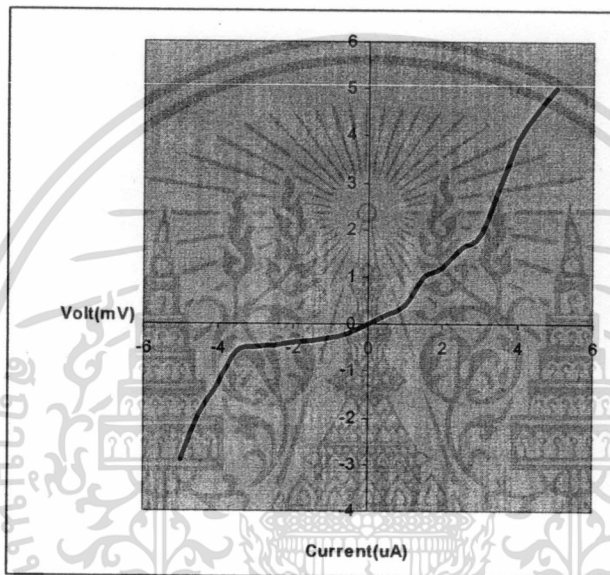
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณลักษณะกระแสและแรงดันของขอตักโฟโตไดโอดสร้างจากฟิล์มเพชร

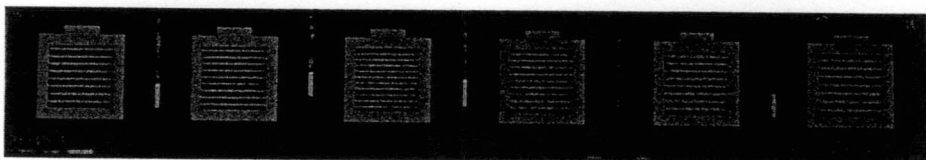
นำอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดที่สร้างบนฟิล์มเพชรที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) แล้วแรงดันไฟฟ้า (V) ที่อุณหภูมิ (25°C) เมื่อไม่ได้รับการฉายแสง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของขอตักโฟโตไดโอดก่อนฉายแสง

4.2 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรโดยปริมาณต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงทั้งหมด 6 แบบของขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร ที่สร้างขึ้นตามเงื่อนไข $W/G = 80/80, 80/100, 80/120, 60/80, 60/100, 60/120$

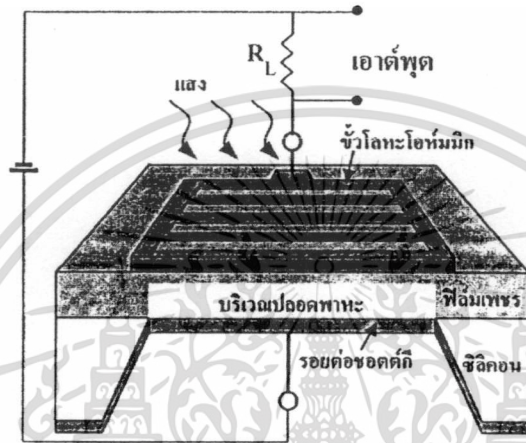


รูปที่ 4.2 ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่รับแสงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชนิดที่โฟโตไดโอดเมื่อได้รับฉายแสง Halogen

นำอุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดที่สร้างได้มาฉายด้วยแสง Halogen เพื่อทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของการรับแสง การต่อวงจรเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางแสงต่างๆของอุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดเมื่อได้รับแสง ดังรูปที่ 4.3 ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเห็นได้ว่าที่โครงสร้างอัตราส่วน 60/100 จะให้ศักดาเอาต์พุตสูงสุด



รูปที่ 4.3 การต่ออุปกรณ์ชนิดที่โฟโตไดโอดเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางแสงต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แรงดันของชนิดที่โฟโตไดโอดเมื่อได้รับแสง Halogen

พื้นที่รับแสง (W/G)	80/80	80/100	80/120	60/80	60/100	60/120
Voltage(mV)	2.1	2.8	3.0	3.3	3.4	2.8

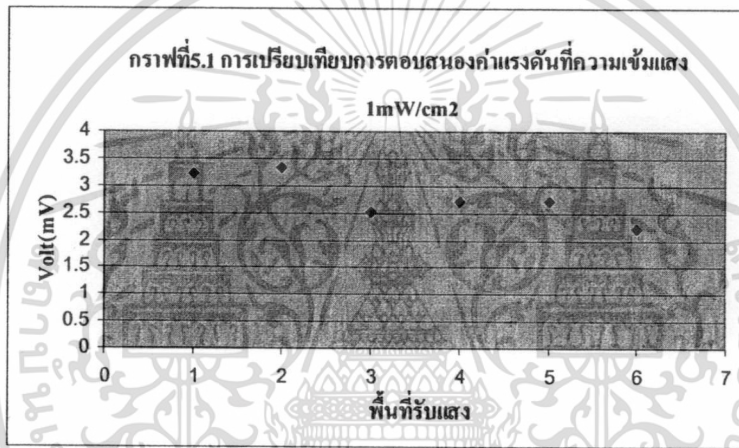
4.2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชนิดที่โฟโตไดโอดเมื่อได้รับฉายแสงอัลตราไวโอเลต

การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชรโดยปริมาณต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงทั้งหมด 6 แบบของชนิดที่โฟโตไดโอดฟิล์มเพชร ที่สร้างขึ้นตามเงื่อนไข ,80/120,60/80,60/100,60/120 โดย Sensor ไปประยุกต์ใช้งานเราจะต้องทำการเลือกตัว Sensor ที่ดีที่สุดมาทำการใช้งาน โดยทำการใช้การเปรียบเทียบการตอบสนองค่าแรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 1 mW/cm²เพื่อหาอุปกรณ์ที่ดีที่สุดในการทดลอง ดังตารางที่ 4.2

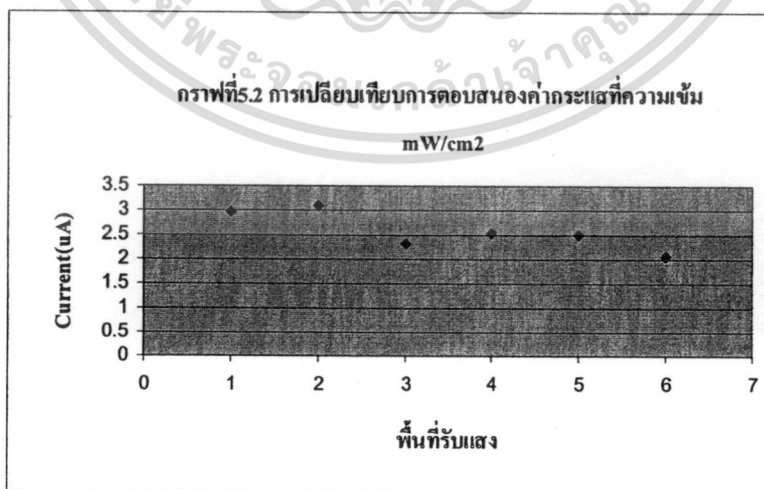
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แรงดันของขอตัก์โฟโตโอดเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลตที่ 1 mW/cm^2

พื้นที่รับแสง (W/G)	1	2	3	4	5	6
Voltage(mV)	2.1	2.8	3	3.3	3.4	2.8
Current(uA)	2.97	3.09	2.32	2.52	2.5	2.05



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการตอบสนองค่าแรงดันที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของพื้นที่รับแสง

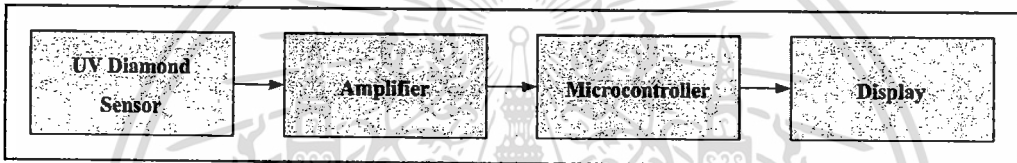


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการตอบสนองค่ากระแสที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของพื้นที่รับแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าผลการตอบสนองค่าแรงดันที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของ Sensor แต่ละตัว จากรูปที่ 4.4 พื้นที่รับแสงตัวที่ 2 จะมีผลการตอบสนองดีกว่าตัวอื่น โดยมีเงื่อนไขการสร้าง W/G คือ 80/100 ส่วนรูปที่ 4.5 แสดงการตอบสนองค่ากระแสที่ความเข้มแสง 1 mW/Cm^2 ของ Sensor แต่ละตัว โดยที่ค่ากระแสจะได้จากค่าแรงดันจากรูปที่ 4.4 หารด้วยค่าความต้าน $1.08 \text{ M}\Omega$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับระดับแรงดันที่ได้จากรูปที่ 4.4

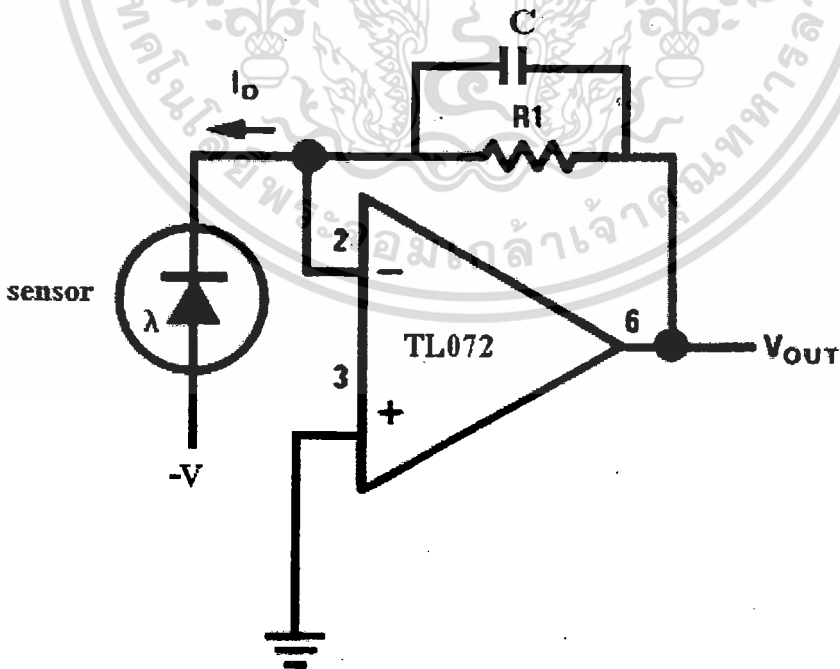
4.3 การประยุกต์ใช้งานซีออตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรสำหรับ UV มิเตอร์

การออกแบบและการสร้างวงจรสำหรับ UV มิเตอร์ โดยการใช้ซีออตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสง UV จะต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งใช้ซีออตต์กีโฟโตไดโอดเป็นส่วนรับแสง UV เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นต้องต่อเข้าวงจรขยายแบบทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ขนาดของสัญญาณ มีความพอเหมาะในการประมวลผลด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำสัญญาณที่ประมวลได้แสดงผลต่อไป



รูปที่ 4.6 โค้ดแกรมส่วนประกอบของวงจร UV มิเตอร์

4.3.1 ภาควงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.7 วงจรขยายของภาคดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดปริมาณแสง UV จะใช้เซนเซอร์ที่มีลักษณะการทำงานเหมือน Photodiode โดยมีหลักการการทำงานคือ มีแสงตกกระทบบน Junction ก็จะทำให้เกิดกระแสแสงขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นกับปริมาณแสง UV การใช้งานของเซนเซอร์ตรวจวัดรังสี UV จะทำโดยใช้วงจรอย่างง่ายคือ วงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนค่ากระแสแสง ซึ่งมีค่าน้อย ๆ ให้เป็นแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามกระแสแสง ซึ่งในวงจรนี้จะใช้ออปแอมป์เบอร์ TL072 ในการขยายสัญญาณที่เป็นแรงดันเอาต์พุต ดังรูปที่ 4.7

การคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุต V_o โดยกำหนดค่า $R_1 = 100\text{ K}\Omega$ เมื่อแสงตกกระทบบนโฟโตไดโอดมีกระแสไหลเท่ากับ $1\mu\text{A}$ และ $50\mu\text{A}$ จะคำนวณได้จากสูตร

$$V_o = R_1 \cdot I_D$$

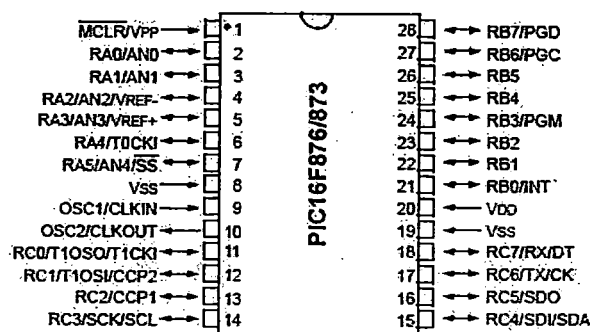
ที่ $I_D = 1\mu\text{A}$ ได้ $V_o = (100\text{ K}\Omega)(1\mu\text{A}) = 0.1\text{V}$

ที่ $I_D = 50\mu\text{A}$ ได้ $V_o = (100\text{ K}\Omega)(50\mu\text{A}) = 5\text{V}$

4.3.2 ผลวงจรมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนของ Application เป็นเครื่องวัด UV ได้มีการนำ Microcontroller มาใช้เป็นตัวประมวลผลในเครื่องวัด โดยเลือกใช้ Microcontroller ตระกูล PIC ดังรูปที่ 4.8 โดยเขียนโปรแกรมไปใช้ควบคุม โดยใช้ CCS ซึ่งภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคือภาษาซี ซึ่งเป็นภาษาที่เขียนง่ายและเข้าใจง่าย โดยจุดประสงค์ที่นำ Microcontroller มาใช้ในเครื่องวัดเพราะต้องการนำโมดูล Analog to Digital มาใช้ และ Microcontroller สามารถแสดงผลออกมาที่ LCD โมดูลได้ ทำให้ลดขนาดของเครื่องวัดได้ เริ่มแรกได้นำ dsPIC มาใช้และภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมคือภาษาซีของ MPLAB เพราะ dsPIC มีความละเอียดและความไวสูง แต่ปัญหาคือ dsPIC ไม่สามารถใช้งานได้ตามโปรแกรมที่ป้อนให้กับ dsPIC จึงเปลี่ยนมาใช้งาน PIC โดยเบอร์ที่ใช้คือ PIC16F876 ซึ่งคุณสมบัติใกล้เคียงกับเบอร์ยอดนิยม PIC16F877 ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ PIC16F876 นั้นมีพอร์ตน้อยกว่าจำนวนขาน้อยกว่า (16F876มี28ขา และ16F877มี40ขา) และขนาดก็เล็กกว่าด้วย จึงทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องวัดได้อีก

PDIP, SOIC



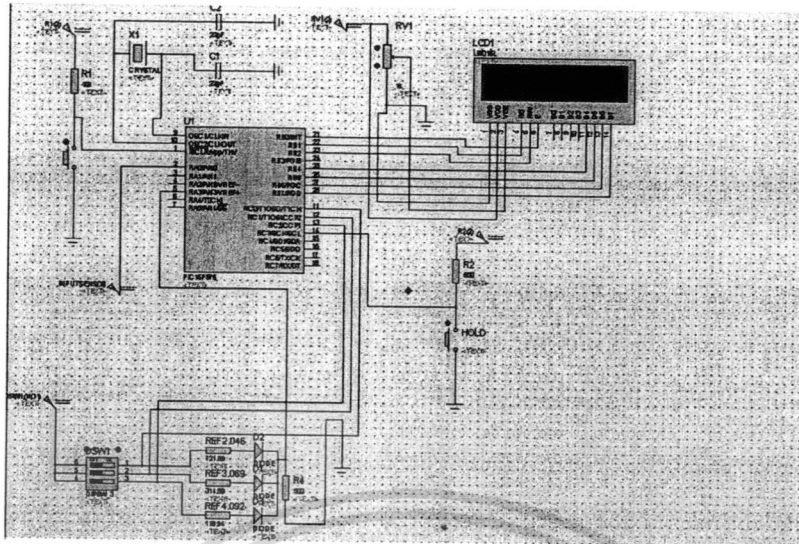
รูปที่ 4.8 Microcontroller 16F876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรมสั่งงาน PIC จะต้องเขียนโปรแกรมติดต่อกับโมดูลภายในของPICซึ่งโมดูลนั้นคือ Analog to Digital module ใน 16F876 มี ADC ความละเอียดขนาด 10 บิต สามารถใช้งานได้ 2 แบบคือ แรงดันอ้างอิงภายใน และแรงดันอ้างอิงภายนอก

แรงดันอ้างอิงภายใน คือการใช้แรงดันไฟเลี้ยงของ PIC(5Vdc) ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ แรงดันอ้างอิงภายนอก จะใช้แรงดันจากภายนอกที่ป้อนเข้ามาที่ขา Vref (ขา5) ถ้าใช้แรงดันอ้างอิงภายใน ไม่สามารถให้ความละเอียดของข้อมูลได้เพียงพอ ซึ่งในส่วนเครื่องวัด ต้องการให้ PIC สามารถแสดงผลออกมาเป็น 1mV ได้ แต่ถ้าใช้แรงดันภายใน (5V) ไม่สามารถทำได้ $5/1023 = 0.00488$ ตัวเลข 1023 คือความละเอียด 10 บิต ($2^{10} = 1024$) นั่นคือADCสามารถตรวจจับค่าแรงดันได้ 1024 ค่า (0-1023) ดังนั้นการแก้ปัญหานี้คือ ลดขนาดแรงดันอ้างอิง จึงต้องใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก ซึ่งแรงดันที่เหมาะสมควรจะเป็นแรงดันที่มีตัวเลข 1023 เป็นพื้นฐาน เช่น 1.023V , 2.046V , 3.069V , 4.092V ถ้าเป็นแรงดันอื่นก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน แต่จะมีปัญหาคือค่าความผิดพลาด (error) ซึ่งถ้าเป็นแรงดันอินพุตต่ำๆจะไม่ค่อยมีปัญหา แต่ยิ่งป้อนแรงดันอินพุตสูงขึ้น จะมี error สะสม ทำให้ยิ่งผิดพลาดสูงมาก ซึ่งถ้าสามารถทำแรงดันอ้างอิงได้ดังที่กล่าวมาจะทำให้ตรวจจับแรงดันในหน่วย mV ได้พอดี และความผิดพลาดจะต่ำมาหรือไม่มีเลย เช่น แรงดัน 1.023V ADCจะตรวจจับได้ครั้งละ 1mV , 2.046V จะตรวจจับได้ครั้งละ 2mV , 4.092Vจะตรวจจับได้ครั้งละ 4mV เป็นต้น ซึ่งยิ่งแรงดันน้อยลงก็ยิ่งได้ความละเอียดสูงมาก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เมื่อใช้แรงดัน 1.023V มาเป็นแรงดันอ้างอิง ADC ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากแรงดันน้อยเกินไป จึงจำเป็นต้องใช้แรงดัน 2.046V ซึ่งจะมี error เพียงแค่ว่า ไม่สามารถตรวจจับแรงดัน1mVได้ แต่สามารถตรวจจับได้ทีละ2mV แต่ error ส่วนนี้จะไม่มีการสะสม ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงที่ดีที่สุดที่สามารถใช้ได้ ในขณะที่ ทั้งนี้ในการออกแบบวงจรในเบื้องต้นจากการใช้การ Simulate ด้วย โปรแกรม ISIS ของ Proteus 6 Professional ประกอบกับการต่อวงจรจริงลงในแผ่นวงจรเอนกประสงค์ เนื่องจาก การ Simulate ไม่สามารถจำลองได้ทุกเงื่อนไข หรือ บางครั้งอาจให้ค่าที่ไม่สามารถนำมาปฏิบัติได้จริง จึงมีความจำเป็นต้องต่อวงจรจริงในแผ่นวงจรเอนกประสงค์

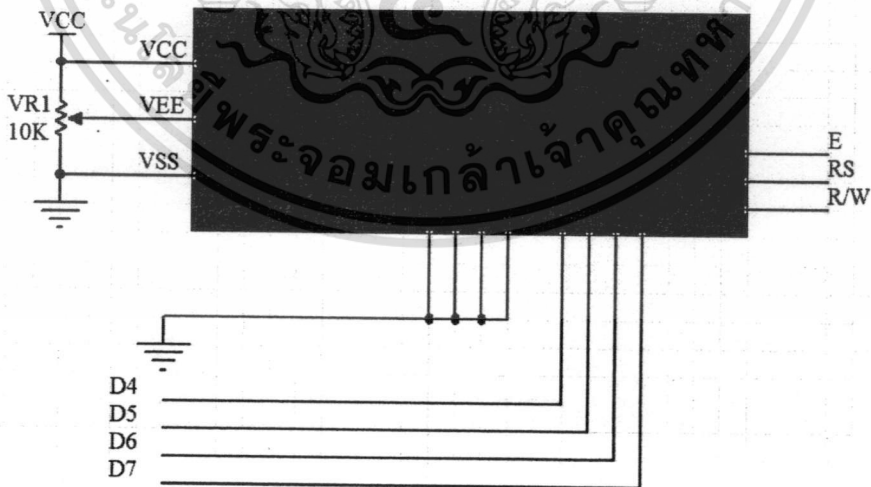
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 วงจรที่ใช้ในการ Simulate โดยโปรแกรม ISIS

4.3.3 ภาควงจรแสดงผล

หน่วยแสดงผลโมดูล LCD (Liquid Crystal Display module) หรือหน่วยแสดงผลแบบผลึกเหลวโดยโมดูล LCD จะมีอยู่สองชนิดด้วยกัน คือ แบบตัวอักษรและแบบกราฟิก โครงสร้างพื้นฐานของโมดูล LCD แบบตัวอักษรแสดงดังรูป



รูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งขาของ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขาสัญญาณของ โมดูล LCD มีดังนี้

ขาที่ 1 GND สำหรับต่อขาราวด์ของวงจร

ขาที่ 2 VCC ต่อกับไฟเลี้ยง +5V

ขาที่ 3 VO สำหรับต่อปรับความสว่างของหน้าจอ

ขาที่ 4 RS ขาเลือกการติดต่อกับบริจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล โดย 0 จะติดต่อกับคำสั่ง และ 1 จะติดต่อกับข้อมูล

ขาที่ 5 RW ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ โมดูล LCD

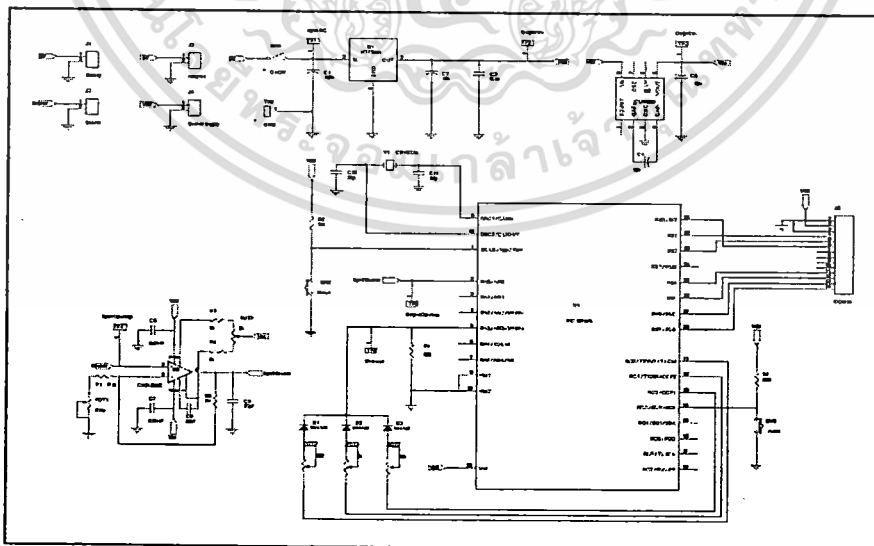
ขาที่ 6 E ป้อนสัญญาณ Enable ให้โมดูล LCD เริ่มทำงาน

ขาที่ 7-14 เป็นขาข้อมูล DATA

4.4 การทำแผ่นวงจร

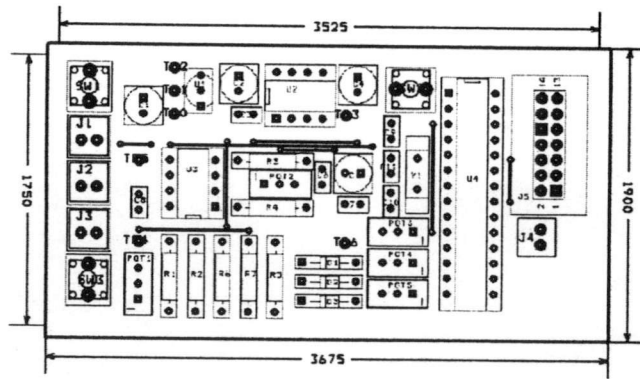
หลังจากการทดลองต่อวงจรที่ออกแบบไว้ลงบนแผ่นวงจรเอนกประสงค์และทำการทดสอบจนกระทั่งมั่นใจแล้วว่าวงจรทำงานถูกต้อง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำแผ่นวงจร หรือ PCB ในขั้นตอนการทำแผ่นวงจร หรือ PCB จะใช้โปรแกรม Orcad 9.2 ดังรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ในการออกแบบ โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. เขียนวงจร ด้วย โปรแกรม Orcad Capture CIS
2. ใส่ Footprint ของอุปกรณ์ทุกตัวในวงจร
3. สร้างบอร์ดเพื่อจัดอุปกรณ์และเดินสาย
4. สั่งพิมพ์ลายวงจรเป็นเอกสาร
5. สร้างแผ่นวงจรจากเอกสารต้นแบบ



รูปที่4.11 เขียนวงจร ด้วยโปรแกรม Orcad Capture CIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สร้างแผ่นวงจรจากเอกสารต้นแบบ

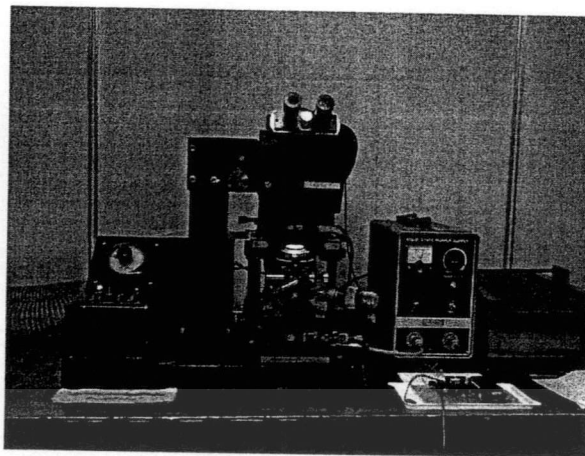


รูปที่ 4.13 เครื่องมือวัดแสงอัลตราไวโอเล็ต

สำหรับ UV มิเตอร์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 4.13 พร้อมทดสอบการใช้งาน

การวิเคราะห์ผลการนำ UV มิเตอร์ชนิดฟิล์มเพชรมาใช้งานกับเครื่อง Mask Aliment ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งแสงที่ได้จากเครื่อง Mask Aliment จะเป็นรังสี UV โดยทำการทดลองในห้องโฟโวลีโธกราฟี

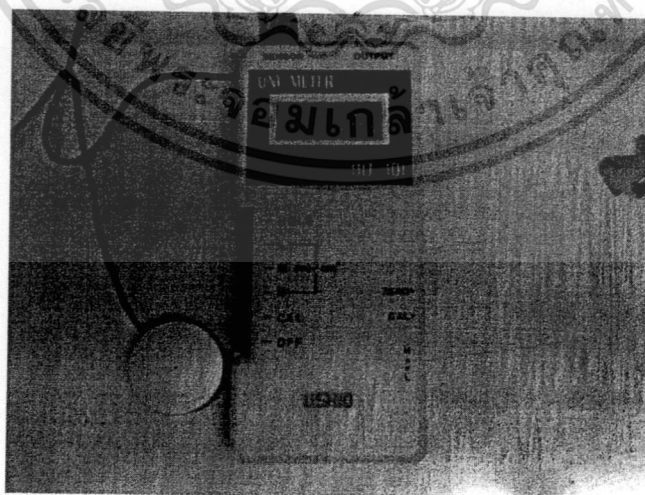
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 เครื่อง Mask Aliment

เครื่อง Mask Aliment จะให้ค่าความเข้มของแสง UV ในแต่ละ Step ไม่เท่ากัน ซึ่งความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละ Step จะมีหน่วยเป็น W/Cm^2 ทำการเปรียบเทียบหน่วยการวัดที่ได้กับค่าแต่ละ Step โดยใช้เครื่อง UNI METER ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นเครื่องวัดความเข้มของรังสี UV

- Step 1 มีค่าความเข้มของ UV เท่ากับ $0.810 W/Cm^2$
- Step 2 มีค่าความเข้มของ UV เท่ากับ $0.860 W/Cm^2$
- Step 3 มีค่าความเข้มของ UV เท่ากับ $0.900 W/Cm^2$
- Step 4 มีค่าความเข้มของ UV เท่ากับ $0.970 W/Cm^2$
- Step 5 มีค่าความเข้มของ UV เท่ากับ $1.030 W/Cm^2$



รูปที่ 4.15 เครื่อง UNI METER

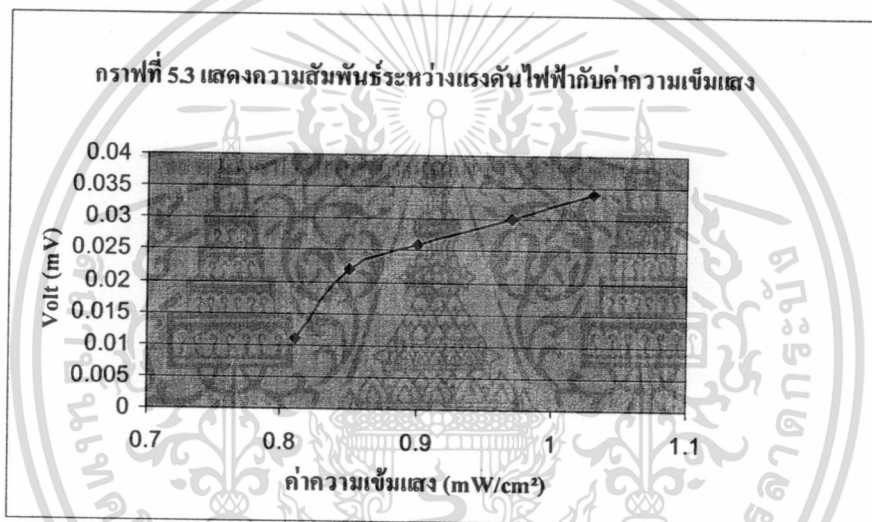
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่ได้สร้างขึ้นนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน UNI METER โดยจะใช้เครื่องมาตรฐานวัดค่าความเข้มของรังสี UV ในค่าต่างๆแล้วบันทึกค่าไว้ และในขณะเดียวกันก็ใช้เครื่องที่สร้างขึ้นวัดค่าความเข้มรังสี UV ในค่าต่างๆเช่นกัน โดยวัดออกมาในรูปแบบแรงดันไฟฟ้า

การทดลองโดยใช้เครื่องวัดที่เราออกแบบได้จะได้ค่าแต่ละ Step ของเครื่อง Mask Aliment เป็นระดับแรงดันซึ่งผลการวัดจะได้ค่าตามตารางที่ 4.3

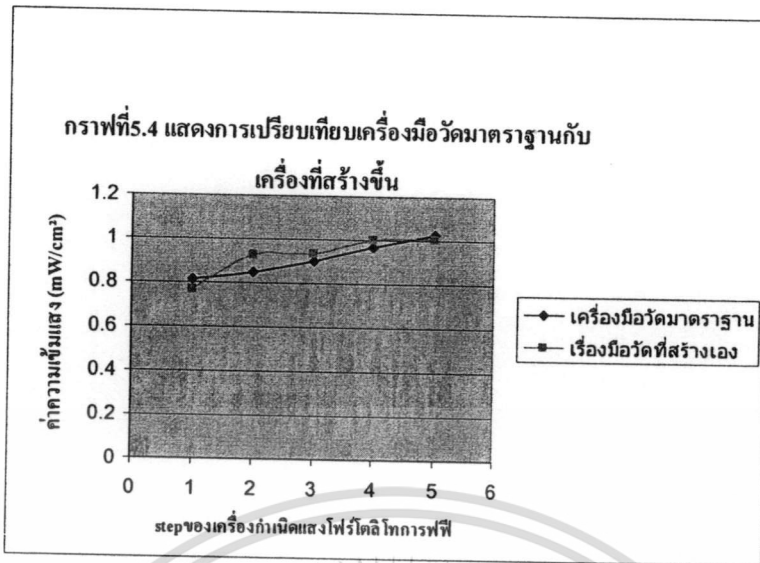
ตารางที่ 4.3 การวัดเทียบค่าแรงดันกับค่าความเข้มแสงของเครื่องมือที่ออกแบบ

ค่าความเข้มแสง (mw/cm^2)	0.81	0.85	0.9	0.97	1.03
ค่าศักดาไฟฟ้าแสง (mV)	26.4	28.5	29.8	30.7	31.9



ที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสง

นำค่าศักดาไฟฟ้าจากรูปที่ 4.16 ของการวัดมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสง UV เพื่อให้ได้กราฟความสัมพันธ์ เมื่อนำสมการประมาณค่าแบบเชิงเส้นหาค่าความชันจะได้ $Y = 0.95x - 0.63$ สามารถนำมาใช้เขียนโปรแกรมแล้วบันทึกโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านจอ LCD ซึ่งจะได้ค่าความเข้มแสง UV จากเครื่องวัด UV มิเตอร์ ที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.17 และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5%



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องมือวัดที่
ออกแบบ

step	ค่ามาตรฐาน (mW/cm ²)	ค่าที่ทดลอง (mW/cm ²)	ค่าผิดพลาด %
1	0.81	0.78	3.7
2	0.85	0.83	4.05
3	0.9	0.934	3.77
4	0.97	0.998	2.88
5	1.03	1.007	2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

รายงานเล่มนี้แสดงผลการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำฟิล์มเพชรมาประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยทำการศึกษาดังพฤติกรรมทางแสงของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำโดยเลือกใช้โครงสร้างแบบขดตึกโฟโตไดโอดสร้างบนฟิล์มเพชรด้วยเหตุผลที่ว่ามีการบวนการสร้างที่ไม่ซับซ้อนมากนักและโครงสร้างแบบโฟโตไดโอดจะมีความไวในการทำงานนอกจากนี้ขดตึกโฟโตไดโอดที่สร้าง นอกจากนี้ขดตึกโฟโตไดโอดที่สร้างเราจะออกแบบให้ทำงานในแนวตั้งแทนที่จะทำงานในแนวราบ(planar) โดยพิจารณาโครงสร้างของฟิล์มเพชรที่เป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ซึ่งออกแบบให้ทิศทางการเดินทางของประจุพาหะเป็นไปในแนวเดียวกับเส้นพรมแดนผลึกก็น่าจะช่วยลดอิทธิพลของเส้นพรมแดนผลึกได้

โดยจากการทดสอบในการสร้างออกไซด์บนแผ่นซิลิคอนจะสร้างแบบ DRY ก่อน และจะสร้างแบบ WET ที่หลัง เพราะในช่วงแรกต้องการให้เกิดซ้ำ ๆ และต้องการผิที่เรียบ กว่าแบบ WET ซึ่งและในขบวนการสร้างฟิล์มเพชรจะต้องทำการขัดก่อนเพื่อให้จุดที่เป็นรอยขีดเกิดเพชรได้ดี ซึ่งฟิล์มเพชรที่ออกมาข้างออกมาสมบูรณ์ แต่ลักษณะของแผ่นซิลิคอนที่เสร็จแล้ว จะมีรอยที่ขอบออกเกิดจากการกัด

จากการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขดตึกโฟโตไดโอดที่มีพื้นที่รับแสงที่ดี จะสามารถตอบสนองได้ดีกว่าพื้นที่รับแสงที่อยู่ห่างกัน ก็จะมีการทำงานที่เร็วกว่า และในการทดลองวัดแสงควรให้เซนเซอร์อยู่ในอุณหภูมิต่ำให้ได้มากที่สุดเพราะค่าที่วัดออกมาจะเกิดการผิดพลาดเนื่องจากความร้อนได้

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสงอัลตราไวโอเล็ตจะใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (16F876) เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยจากการทดลอง จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าของแสงโดยจะแสดงผลออกทางจอ LCD โดยความสามารถของเครื่องมือวัดจะมีความสามารถในการวัดอยู่ในช่วง 0.5 mW/cm^2 ถึง 10 mW/cm^2 โดยค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด $\pm 5\%$