

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND UV SENSOR



T104357



จัดทำโดย

นายเศรษฐพงศ์ ดีเยี่ยมระ

นายอวิรุทธ์ คงยะฤทธิ

นายอัทรพล ศรีโกศลศักดิ์

พ.ศ.
๒๕๕๑
๒๐๖

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104357

วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ศ. 2552

๖ 12110316

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND UV SENSOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND UV SENSOR

ผู้จัดทำ

นายเศรษฐพงศ์ ทีเจี้ยวระระ 49015253

นายอวิรุทธิ์ คงยะฤทธิ 49015262

นายอัครพล ศรีโกศักดิ์ 49015264



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร
DIAMOND UV SENSOR

นายเศรษฐพงศ์ ธิเจี้ยวระระ	49015253
นายอวิรุทธิ์ คงยะฤทธิ	49015262
นายอัทธพล ศรีโกศลศักดิ์	49015264

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้วพร้อมที่จะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดฟิล์มเพชร

DIAMOND UV SENSOR

นายเศรษฐพงศ์ ทีเจี้ยวระ เลขประจำตัว 49015253

นายอวิรุทธิ์ กงยะฤทธิ์ เลขประจำตัว 49015262

นายอัครพล ศรีโกศักดิ์ เลขประจำตัว 49015264

รศ.สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการสร้างฟิล์มเพชร เพื่อนำมาใช้งานเป็น
ขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลต (Diamond UV sensor) ซึ่งฟิล์มเพชรสามารถตอบสนอง
ได้ดีกับแสง โดยฟิล์มเพชรของโครงการนี้ได้จากการสังเคราะห์ในกระบวนการ CVD แบบ
ลดความร้อนที่ความดัน 50 ทอร์ ควบคุมเงื่อนไขให้ได้ฟิล์มเพชรหนา 10 μm บนฐาน รองซิลิคอน
มีการควบคุมพื้นที่ฟิล์มเพชร โดยเทคนิคใช้ชั้นซิลิคอนไดออกไซด์เป็นหน้าฉากป้องกันการเกิดฟิล์ม
เพชร สำหรับการวัดและทดสอบตรวจสอบ ลักษณะพื้นผิว รูปร่าง คุณสมบัติทางไฟฟ้ากระแส
และแรงดัน คุณสมบัติการวัดความเข้มของแสงอัลตราไวโอเลต โดยการนำมาทดลองร่วมกับวงจร
โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์(PIC16F876)เป็นตัวแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและกระแสเป็นความเข้ม
ของแสง

DIAMOND UV SENSOR

Mr. Sretthapong Leejoeiwara student ID. 49015253

Mr. Aviroot Kongyarit student ID. 49015262

Mr. Atthapon Srikosak student ID. 49015264

Assoc. Prof. Somsak Cheersirikul

Year 2008

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.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รศ.สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุลที่ได้ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาวางแนวทางในการทำการวิจัย การแก้ปัญหา การคิดริเริ่มตลอดจนชี้แนะ ทำให้รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอกราบขอบคุณ พี่สรารุณี ที่ช่วยให้คำปรึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษา ในการทำโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ความอำนวยความสะดวกและเครื่องมือต่างๆในการทำโครงการ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณ เพื่อนๆร่วมงานทุกคน ที่คอยให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด



ผู้จัดทำ
นายเศรษฐพงศ์ ถีเจี้ยวระ
นายอวิรุทธิ์ คงชะฤทธิ
นายอัครพล ศรีโกศลศักดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการสัญลักษณ์.....	IX
คำนำ.....	XI
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 การออกแบบชุดตัวโฟโตไดโอด.....	22
3.2 การออกแบบไดอะแฟรม.....	25
3.3 มาส์คและลำดับการสร้าง.....	26
บทที่ 4 Sensor Application.....	36
4.1 การออกแบบวงจรควบคุมด้วย Microcontroller	36
4.2 การทำแผ่นวงจร หรือ PCB.....	39

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	41
5.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร.....	41
5.2 การศึกษาคุณลักษณะกระแสและแรงดันของขอตักไดโอดสร้างจากฟิล์มเพชร.....	44
5.3 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของขอตักไดโอดฟิล์มเพชร.....	45

บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ ผลการทดลอง.....	50
--	----

เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	53
ภาคผนวก ค.....	54
ภาคผนวก ง.....	55
ภาคผนวก จ.....	56
ภาคผนวก ฉ.....	57



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพชรกับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ.....	5
ตารางที่ 5.1 แรงดันของขอตัก์โฟโตโอดเมื่อได้รับแสง Halogen.....	46
ตารางที่ 5.2 แรงดันของขอตัก์โฟโตโอดเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ 1 mW/cm ²	47
ตารางที่ 5.3 ความเข้มแสงของเครื่องโฟร์โตลิโทกราฟี.....	48
ตารางที่ 5.4 การวัดเทียบค่าแรงดันกับค่าความเข้มแสงของเครื่องมือที่ออกแบบ.....	48
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องมือวัดที่ ออกแบบ	49



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แผนผังสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต.....	1
รูปที่ 2.1	แบบจำลอง โครงสร้างผลึกเพชร.....	3
รูปที่ 2.2	ระนาบต่างๆ ของเพชร.....	4
รูปที่ 2.3	ภาพไดอะแกรมระบบ CVD แบบลดความร้อน.....	6
รูปที่ 2.4	แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์.....	7
รูปที่ 2.5	โครงสร้างแถบพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N).....	8
รูปที่ 2.6	โครงสร้างแถบพลังงานของ โลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P).....	8
รูปที่ 2.7	โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่าง โลหะกับสารกึ่งตัวนำ.....	10
	เมื่อได้รับ โป๊ตแรงดัน ไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและ โลหะให้ศักย์ลบ)	
รูปที่ 2.8	โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่าง โลหะกับสารกึ่งตัวนำ.....	11
	เมื่อได้รับ โป๊ตแรงดัน ไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์ลบและ โลหะให้ศักย์บวก)	
รูปที่ 2.9	โครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มเพชรและ โลหะออลูมิเนียม.....	15
รูปที่ 2.10	การลดลงของ โฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำปริมาณของ โฟตอน.....	16
	ฟลักซ์ที่ลดลงเกิดจากการดูดกลืน โฟตอนภายในสารกึ่งตัวนำ	
รูปที่ 2.11	แสดงการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ในช่องว่างแถบพลังงาน.....	17
รูปที่ 2.12	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ขอตต์กีไฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	19
รูปที่ 2.13	กลไกการดูดกลืนแสงแบบต่างๆ ในรอยต่อขอตต์กีไฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	21
รูปที่ 3.1	มาร์คไดอะแฟรม.....	23
รูปที่ 3.2	มาร์คข้าวโลหะ.....	24
รูปที่ 3.3	ภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ขอตต์กีไฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	25
รูปที่ 3.4	ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก.....	26
รูปที่ 3.5	ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร.....	27
รูปที่ 3.6	ภาพจำลองขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ขอตต์กีไฟโตไดโอดฟิล์มเพชร.....	34
รูปที่ 3.7	ภาพถ่ายไดอะแฟรมฟิล์มเพชรที่เกิดจากการกัดฐานรองซิลิคอนด้วยสารละลาย EPD.....	35
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายอุปกรณ์ขอตต์กีไฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างได้.....	36
รูปที่ 4.1	Block diagram.....	37
รูปที่ 4.2	Microcontroller 16F876.....	37
รูปที่ 4.3	วงจรที่ใช้ในการ Simulate โดยโปรแกรม ISIS.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.4 วงจรขยาย (Amplifier).....	39
รูปที่ 4.5 เขียนวงจร ด้วยโปรแกรม Orcad Capture CIS.....	40
รูปที่ 4.6 สร้างแผ่นวงจรจากเอกสารต้นแบบ.....	41
รูปที่ 4.7 เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	41
รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า.....	42
รูปที่ 5.2 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชร.....	43
รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายฟิล์มที่สังเคราะห์ได้ระยะเวลาสังเคราะห์ฟิล์ม.....	44
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของขอตักโฟโตไดโอด.....	44
รูปที่ 5.5 ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่รับแสงต่างกัน.....	45
รูปที่ 5.6 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดคุณลักษณะของแรงดัน.....	45
รูปที่ 5.7 การต่ออุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางแสงต่างๆ.....	46
รูปที่ 5.8 รูปสัญญาณที่ป้อนแสงไฟแฟลช.....	46
รูปที่ 5.9 อุปกรณ์วัดแสงมาตรฐานและแหล่งกำเนิดแสง.....	47

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
ϵ	ค่าเพอริตติวิตี (permittivity)
ϵ_0	ค่าเพอริตติวิตีของสุญญากาศ (permittivity of vacuum)
ϵ_s	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสารกึ่งตัวนำ (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_o	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)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

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 (photocurrent)
I_s	สัญญาณรบกวนชนิดช็อต (shot noise)
I_{sc}	กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตลัดวงจร (short circuit output current)
m^*	มวลประสิทธิผล (effective mass)
N_A	ความหนาแน่นของแอกเซ็ปเตอร์ (acceptor density)
N_V	ความหนาแน่นประสิทธิผลของสแตตของโฮล (effective density of holes)
q	ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (electronic charge)
V_{bi}	ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in voltage)
V_{oc}	แรงดันเอาต์พุตวงจรมืด (open circuit voltage)

คำนำ

ปัจจุบันฟิล์มเพชรเป็นที่รู้จักแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ทั้งด้านกายภาพ ไฟฟ้า และแสง ดังนั้นจึงทำให้นักวิจัยให้ความสนใจในการศึกษาค่าคว่ำและพัฒนาทั้งในด้านวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและการนำฟิล์มเพชรไปประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในรายงานฉบับนี้ได้ให้ความสนใจกระบวนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเลตชนิดขอตด์กีโคโอดเป็นพิเศษและ คุณสมบัติการมีช่องว่างแถบพลังงานกว้างของเพชร ซึ่งเหมาะกับการนำไปสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงความยาวคลื่นสั้น

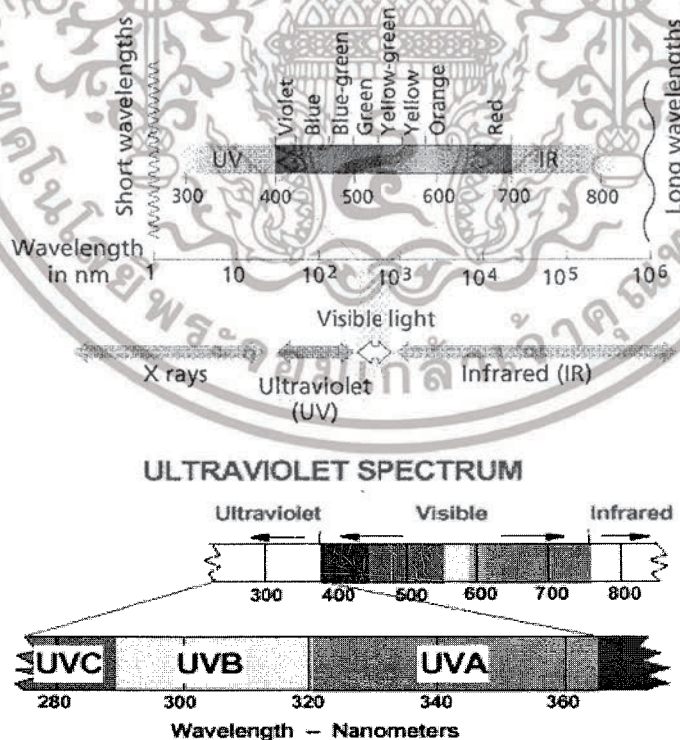
การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร ณ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์เริ่มขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2535 โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ฟิล์มด้วยระบบ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันบรรยากาศ แต่พื้นที่ฟิล์มเพชรที่สร้างได้นั้นมีขนาดเล็ก จึงเป็นการยุ่งยากเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการของลิโทกราฟี หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาทั้งวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรและการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์มเพชรมาโดยตลอด ปัจจุบันฟิล์มเพชรสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำ 50 ทอร์ ซึ่งได้ฟิล์มเพชรที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอและมีพื้นที่ $25 \times 25 \text{ mm}^2$ ทำให้สามารถนำฟิล์มเพชรที่สร้างได้ใช้กระบวนการสร้างปกติของซิลิคอนได้ เนื่องจากศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ศึกษาเพียงพอในการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำบนฐานรองของซิลิคอน ดังนั้นจึงเป็นการง่ายที่จะปรับกระบวนการสร้างให้เหมาะสมกับการสร้างอุปกรณ์จากฟิล์มเพชร

บทที่ 1

บทนำ

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

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



รูปที่ 1 แผนผังสเปกตรัมของแสงอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

แสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นรังสีชนิดหนึ่งที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์ แต่สำหรับผิว โลกรังสีอัลตราไวโอเล็ตตั้งแต่ช่วง UV-B ลงมาจะไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นโลกได้เนื่องจากมีสารดูดกลืนโดยชั้นออกซิเจน โอโซน และก๊าซอื่นๆในชั้นบรรยากาศ แต่ในปัจจุบันสาร CFC_s (Chlorofluorocarbons) และก๊าซบางชนิดที่ถูกปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งมีผลกระทบต่อชั้น โอโซนของโลกทำให้เกิดรู (hole) ในชั้นบรรยากาศ เป็นเหตุให้แสงอัลตราไวโอเล็ตช่วง UV-B บางส่วนเริ่มทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมาได้ ทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้ในการตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ตจึงมีความสำคัญในการช่วยศึกษาและหาทางป้องกันปริมาณรังสีที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลกลงมาได้นอกจากอุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมแล้วยังมีประโยชน์ใช้งานด้านอื่นๆ อีกเช่น ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร และอุตสาหกรรม เป็นต้น

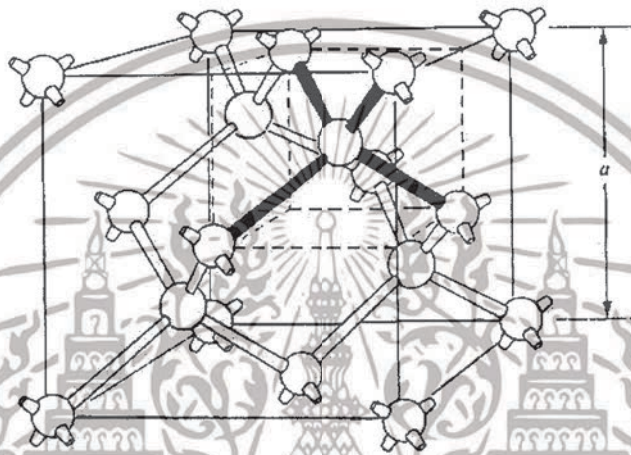
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ฟิสิกส์เพชร

2.1.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกเพชร

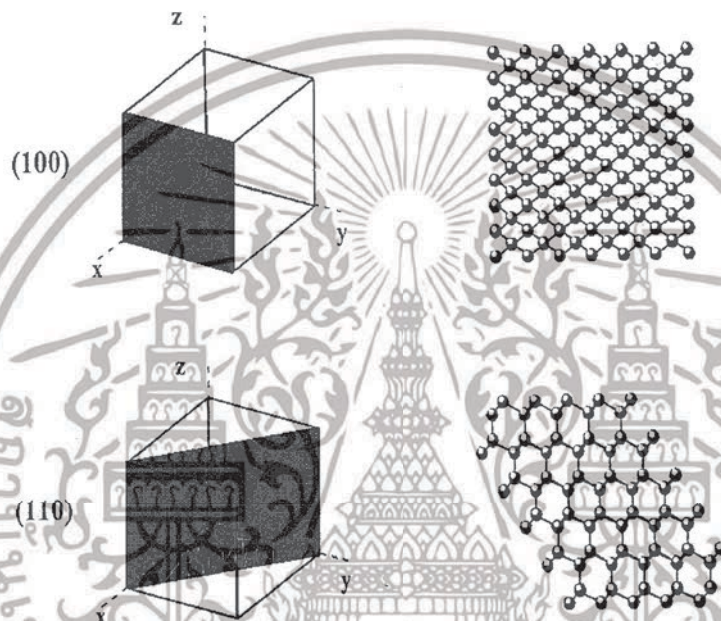
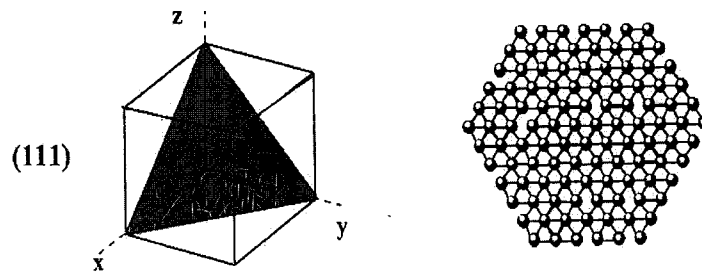


รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างผลึกเพชร

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ระนาบต่างๆ ของเพชร

2.1.2 คุณสมบัติต่างๆของเพชร

เพชรมีคุณสมบัติที่พิเศษกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆอยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติ ทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางแสง เป็นต้น โดยถ้าพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เนื่องจากเพชรมีการยึดเหนี่ยวของอะตอมเป็นแบบพันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่มีความแข็งแรงจึงทำให้เพชรมีความแข็งสูง นอกจากนั้นยังมีความทนต่อการกัดของสารเคมีและมีความนำความร้อนสูง ในด้านคุณสมบัติทางไฟฟ้า พบว่าค่าความคล่องตัวของประจุพาหะ โฮลและอิเล็กตรอน มีค่าสูง และเพชรยังมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำทำให้สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ส่วนคุณสมบัติทางแสงนั้นเพชรมีความกว้างช่องว่างแถบพลังงานสูงจึงมีความเหมาะสมในการนำมาสร้างเป็น อุปกรณ์ตรวจวัดแสงความยาวคลื่นสั้น ซึ่งจะทำให้การรบกวนจากแสงช่วงตามองเห็นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 (Ω.cm)	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 แบบหลอดความร้อน (Hot-Filament CVD), แบบคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Plasma CVD), แบบ ดีซี พลาสมา (DC Plasma CVD) และแบบคลื่นความถี่ (RF Plasma CVD) เป็นต้น

โดยในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD แบบหลอดความร้อน ซึ่งไดอะแกรมระบบ CVD แสดงในรูปที่ 2.3 หลักการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรมีดังนี้

2.1.3.1 ในระบบต้องมีอะตอมคาร์บอน

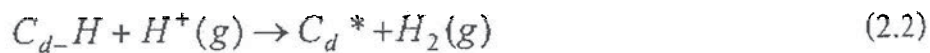
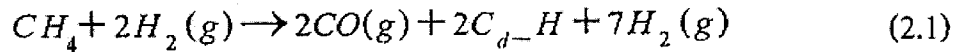
เนื่องจากการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรจะใช้อะตอมคาร์บอนเป็นปัจจัยในการเกิดผลึกเพชร โดยสามารถใช้ก๊าซไฮโดรคาร์บอน หรือแอลกอฮอล์เป็นแหล่งจ่ายคาร์บอน ซึ่งนอกจากจะได้ อะตอมคาร์บอนแล้ว ในส่วนก๊าซไฮโดรเจนยังมีส่วนสำคัญในการกำจัดคราไฟต์ ซึ่งปริมาณของ ก๊าซไฮโดรเจน และอนุภาคคาร์บอนที่เหมาะสมจะทำให้การเกิดของเพชรมีคุณภาพที่ดี

2.1.3.2 การกระตุ้นก๊าซให้เกิดอนุภาคคาร์บอน

ในการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยระบบ CVD แบบหลอดความร้อน การกระตุ้นก๊าซเฟส เพื่อให้แยกอะตอมของคาร์บอนออกมา นับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสังเคราะห์ฟิล์ม โดยเราจะใช้ความร้อนจากหลอดความร้อนทั้งสแตนเป็นตัวกระตุ้นให้อะตอมคาร์บอนแยกตัวออกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมอื่นแล้วก่อตัวเป็นฟิล์มเพชรบนฐานรองที่เตรียมไว้ สมการเคมีแสดงการแตกตัวของก๊าซ มีเทนแสดงในสมการที่ดังนี้



2.1.3.3 อุณหภูมิของฐานรองที่เหมาะสม

พิจารณาจากรูปที่ 2.3 อุณหภูมิของฐานรองนั้นเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากหลอดความร้อนไปยังฐานรอง ดังนั้นระยะห่างระหว่างหลอดความร้อนกับฐานรองจะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของฐานรอง ซึ่งอุณหภูมิของฐานรองจะมีส่วนสำคัญในการกำหนดรูปผลึกของฟิล์มเพชร

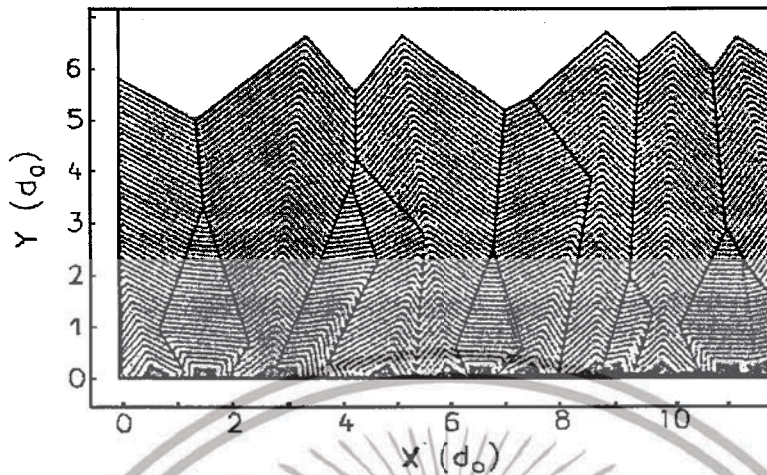


รูปที่ 2.3 ภาพไดอะแกรมระบบ CVD แบบหลอดความร้อน

2.1.3.4 การเตรียมพื้นผิวของฐานรอง

ฐานรอง (Substrate) มีความสำคัญมากต่อการเกิดนิวเคลียสของเพชร โดยสามารถเลือกฐานรองได้หลายชนิด เช่น ซิลิคอน อลูมินา โมลิบดีนัม เป็นต้น โดยทั่วไปมักใช้ ซิลิคอน นำมาขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรให้มีลักษณะเป็นเส้นรอยขีดข่วนทั้งนี้เพื่อช่วยต่อการเกิดนิวเคลียสของผลึกเพชร ฟิล์มเพชรจะเริ่มต้นเกิดที่รอยขีดข่วนก่อนจากนั้นจึงเริ่มขยายขึ้นเรื่อยๆ รูปที่ 2.4 แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบ โพลีคริสตัลไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงภาพจำลองการก่อตัวของฟิล์มเพชรที่มีลักษณะเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์

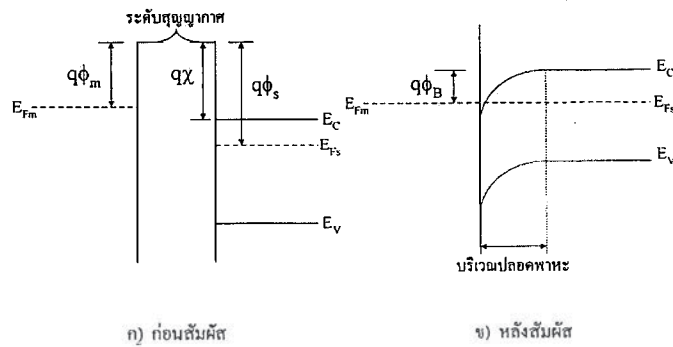
2.2 รอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำ

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

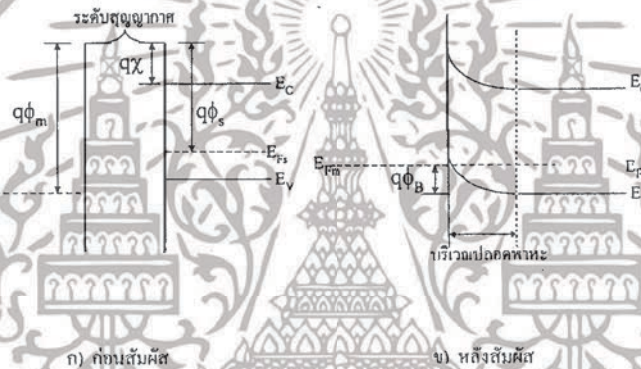
2.2.1 รอยต่อแบบโอห์มมิก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแถบพลังงานของโลหะและสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P)

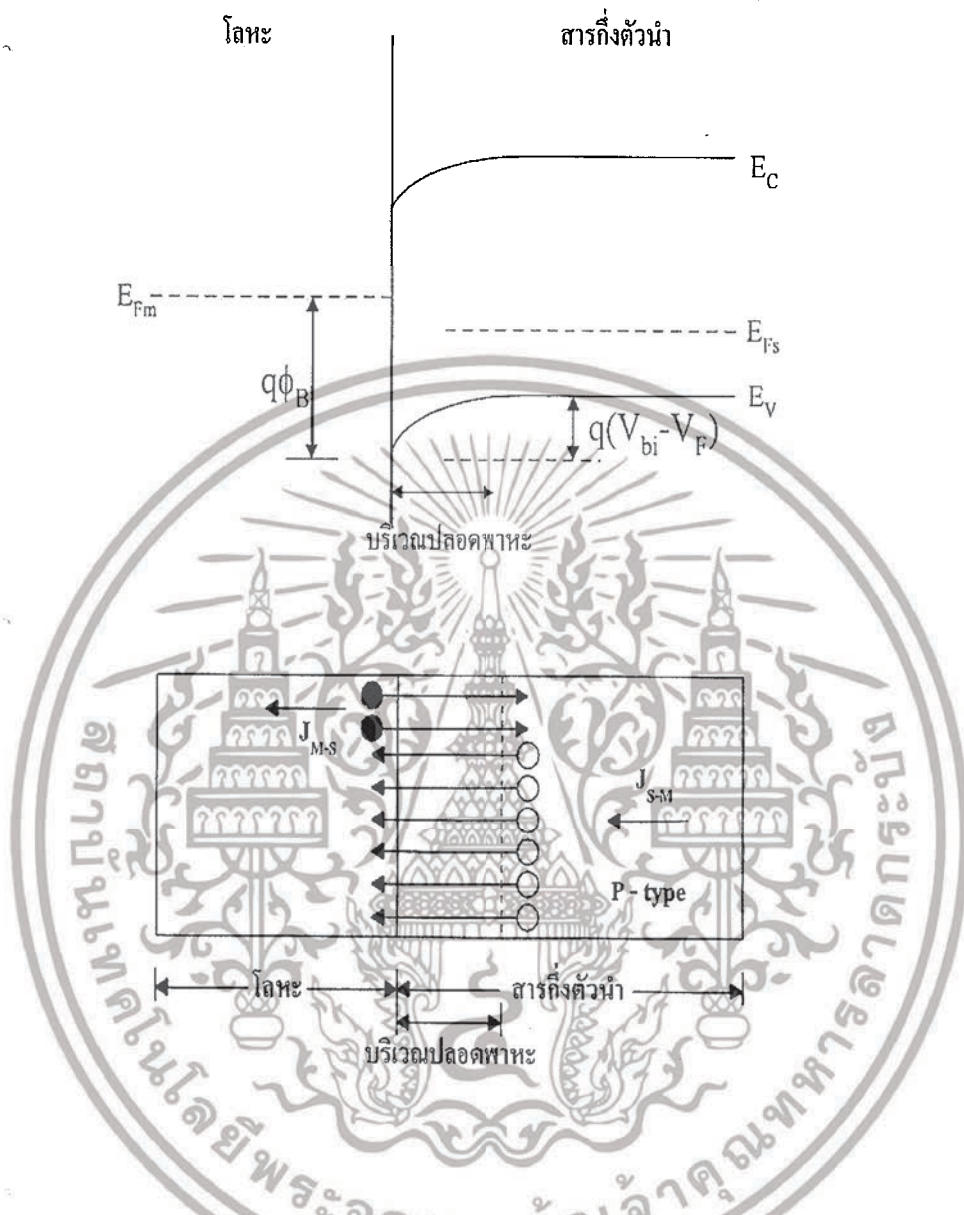
พิจารณารูปที่ 2.5 ซึ่งแสดงโครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยค่าฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อนำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยระดับเฟอร์มี (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กตรอนจากโลหะจะไหลผ่านรอยต่อเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดอิมบวกขึ้นทางด้านโลหะและทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อขึ้น โดยการไหลอิเล็กตรอนจะหยุดลงเมื่อสนามไฟฟ้าภายใน มีค่าสูงพอที่จะทำให้สามารถต้านการแพร่ของอิเล็กตรอนได้และเป็นสภาวะสมดุล ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของอิเล็กตรอนทางด้านสารกึ่งตัวนำบริเวณรอยต่อ โดยถ้าสังเกตจากรูปที่ 2.5 จะไม่มีกำแพงศักย์กั้นอิเล็กตรอนที่จะเคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะ กล่าวคืออิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้ทั้งสองทิศทาง และในสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่มี $\phi_s < \phi_m$ ก็เกิดปรากฏการณ์เช่นเดียวกันกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รอยต่อชนิดชอตต์กี

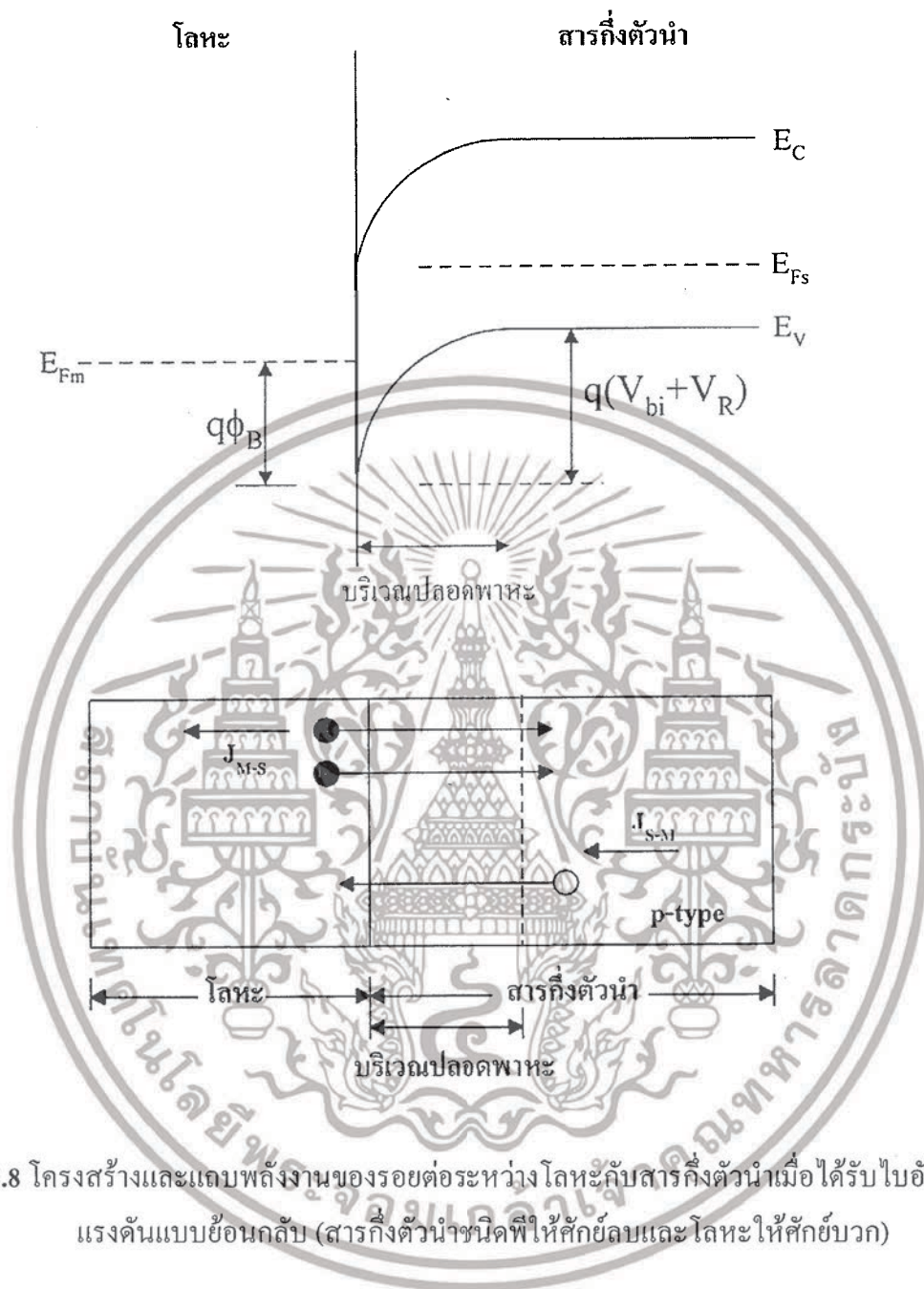
เมื่อนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว เราเรียกรอยต่อแบบนี้ว่ารอยต่อชอตต์กี (schottky contact) พิจารณาสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ฟังก์ชันงานของโลหะ ϕ_m มีค่ามากกว่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ϕ_s เมื่อเรานำโลหะและสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะระหว่างสารทั้งสองชนิดจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยระดับเฟอร์มี (fermi level) ของสารทั้งสองชนิดจะอยู่ระดับเดียวกัน เนื่องจากอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อเข้าไปด้านโลหะจึงทำให้เกิดอิลอนบวกเกิดขึ้นที่สารกึ่งตัวนำและเกิดมีประจุลบขึ้นที่ทางด้านโลหะ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณรอยต่อ ซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะต้านการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเกิดเป็นกำแพงศักย์กั้นจนไม่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน คืออยู่ในสภาวะสมดุล ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพีก็อธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์เดียวกัน และเมื่อนำโลหะกับสารกึ่งตัวนำมาสัมผัสกันจะมีการถ่ายเทประจุพาหะจนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุล คือไม่มีการเคลื่อนที่ของประจุพาหะดังนั้นจึงไม่มีกระแสไฟฟ้าไหล แต่เมื่อให้ไบอัสแรงดันให้แก่รอยต่อจะมีผลให้โฮลที่เคลื่อนที่จากสารกึ่งตัวนำไปยังโลหะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่สำหรับกำแพงศักย์ที่กั้นอิเล็กตรอนที่ไหลจากด้านโลหะไปสารกึ่งตัวนำ ϕ_{db} จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อให้ไบอัสไปข้างหน้า (forward bias) กับรอยต่อจะทำให้ค่า V_b ศักย์ไฟฟ้าภายใน (built in voltage) ลดค่าลงและถ้าแรงดันไบอัสมีค่ามากพอ ($V_f \geq V_{bi}$) ก็จะทำให้ประจุพาหะโฮลสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปยังโลหะได้ ในทางตรงข้ามถ้าให้ไบอัสย้อนกลับ (reverse bias) แก่รอยต่อก็จะทำให้ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงขึ้นดังนั้นโฮลซึ่งเป็นประจุพาหะส่วนใหญ่ในสารกึ่งตัวนำจะถูกขัดขวางด้วยกำแพงศักย์ที่มากขึ้นทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามผ่านรอยต่อไปยังด้านโลหะได้แบบจำลองโครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสไปข้างหน้าและไบอัสย้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดัน ไปข้างหน้า (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์บวกและโลหะให้ศักย์ลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างและแถบพลังงานของรอยต่อระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำเมื่อได้รับไบอัสแรงดันแบบย้อนกลับ (สารกึ่งตัวนำชนิดพีให้ศักย์ลบและโลหะให้ศักย์บวก)

2.2.2.1 การไหลของกระแสไฟฟ้าในรอยต่อโลหะกับสารกึ่งตัวนำ

การไหลของกระแสไฟฟ้าในรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำแบบชอตต์กี เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุพาหะส่วนมาก (majority carriers) โดยที่ทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรม การไหลของกระแสในรอยต่อแบบชอตต์กีอยู่หลายทฤษฎี แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวเฉพาะทฤษฎีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปซึ่งมีอยู่ 2 ทฤษฎีคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีเทอร์มิออนิกอิมิชชัน (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 ของริชาร์ดสัน (Richardson constant)

J_{ST} คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอิ่มตัว (saturation current density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ความหนาแน่นประสิทธิผลของสเตตโฮล (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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 สักย์ไฟฟ้าภายในและค่าความสูงกำแพงศักย์ของรอยต่อชอตต์กี

พิจารณารอยต่อแบบชอตต์กีที่เกิดจากการนำโลหะมาสัมผัสกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี โดยที่ค่าฟังก์ชันงานของโลหะ (Φ_m) มีค่าน้อยกว่าค่าฟังก์ชันงานของสารกึ่งตัวนำ (Φ_p) เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาสัมผัสกันแล้วจะเกิดการถ่ายเทประจุพาหะของวัสดุทั้งสองจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุลคือ ระดับพลังงานเฟอร์มิของวัสดุทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกัน โดยเมื่อนำสารกึ่งตัวนำและโลหะมาสัมผัสกันจะทำให้เกิดมีความต่างศักย์ตกคร่อมที่รอยต่อเช่นเดียวกับรอยต่อแบบพีเอ็น ค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมรอยต่อขณะอยู่ในภาวะสมดุลความร้อนเราเรียกว่า สักย์ไฟฟ้าภายใน V_{bi} (built in voltage) ซึ่งเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ประจุพาหะในสารกึ่งตัวนำจะต้องเอาชนะเพื่อที่จะข้ามไปยังด้านโลหะ นอกจากนี้บริเวณรอยต่อยังเกิดกำแพงศักย์ 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

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

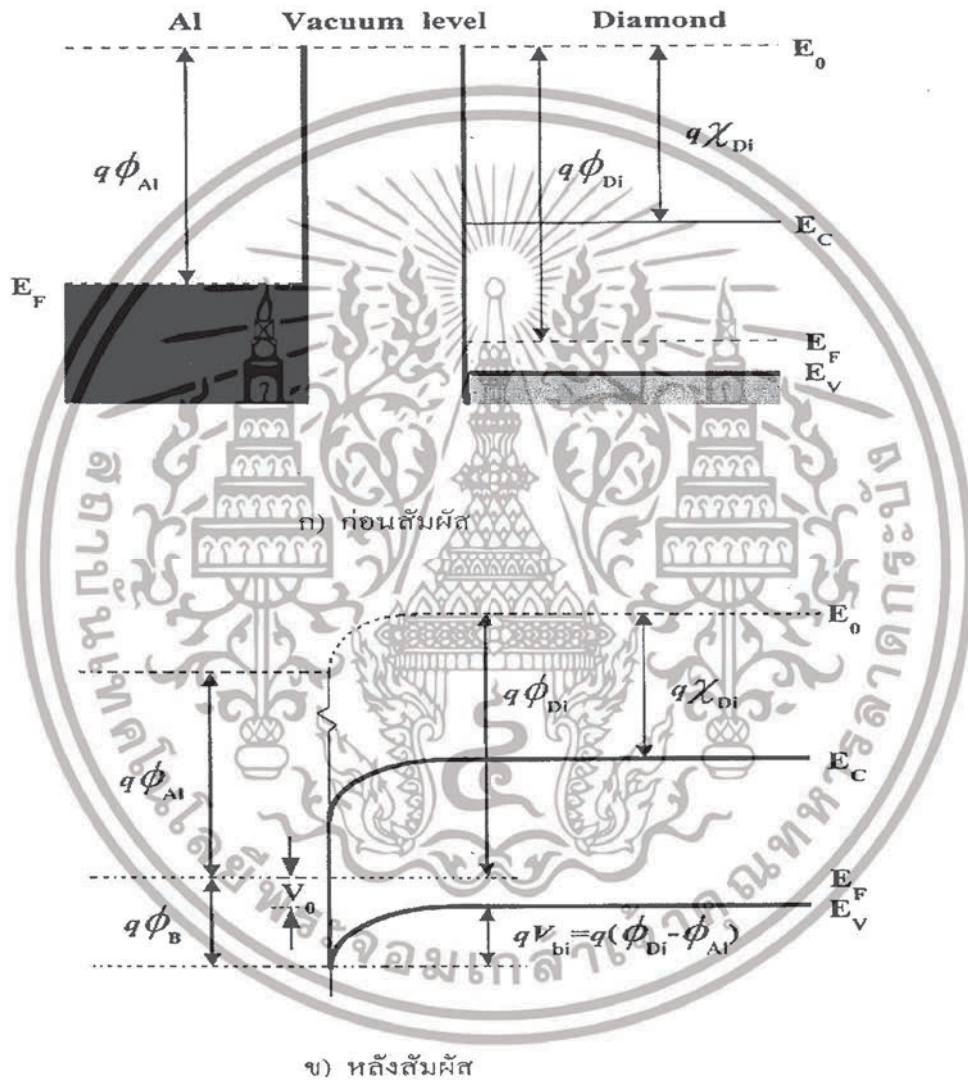
โดยค่า $d(1/C^2)/dV$ หาได้จากความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C^2$ กับแรงดันไบอัส V และค่าศักย์ไฟฟ้าภายใน V_{bi} หาได้จากจุดตัดของกราฟกับแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อฟิล์มเพชรกับโลหะอลูมิเนียม

รอยต่อฟิล์มเพชรกับโลหะอลูมิเนียมจัดเป็นรอยต่อแบบขอตต์ก็คือ เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาสัมผัสกันจะทำให้เกิดความต่างศักย์ตกที่รอยต่อและยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในทิศทางเดียว

แผนภาพ โครงสร้างแถบพลังงานของรอยต่อฟิล์มเพชรกับโลหะอลูมิเนียมทั้งก่อนและหลังสัมผัสแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างแถบพลังงานของฟิล์มเพชรและโลหะอลูมิเนียมทั้งก่อนและหลังนำมาสัมผัส
ก) ก่อนสัมผัส ข) หลังสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พหุติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ

แสงและวัสดุมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดเช่น วัสดุสะท้อนแสงได้ วัสดุดูดกลืนแสงได้ วัสดุหักเหแสงได้ วัสดุเปล่งแสงได้ เป็นต้น ดังนั้นการใช้งานของสิ่งประดิษฐ์ทางแสงจึงต้องใช้ปรากฏการณ์ต่างๆเหล่านี้เป็นหลักในการทำงาน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแสงและสารกึ่งตัวนำ เพื่อจะศึกษาพฤติกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างแสงกับสารกึ่งตัวนำ

2.3.1 การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำนับเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อสารกึ่งตัวนำดูดกลืนแสงแล้วจะทำให้เกิดประจุพาหะอิสระขึ้นซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางแสงให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า การดูดกลืนแสงสามารถอธิบายด้วยสมการทางฟิสิกส์ที่พิจารณาว่า โฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ จะลดลงกับระยะทางที่เข้าไปข้างในสารกึ่งตัวนำ โดยจะลดลงอย่างเอ็กโพเนนเชียลและสามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ

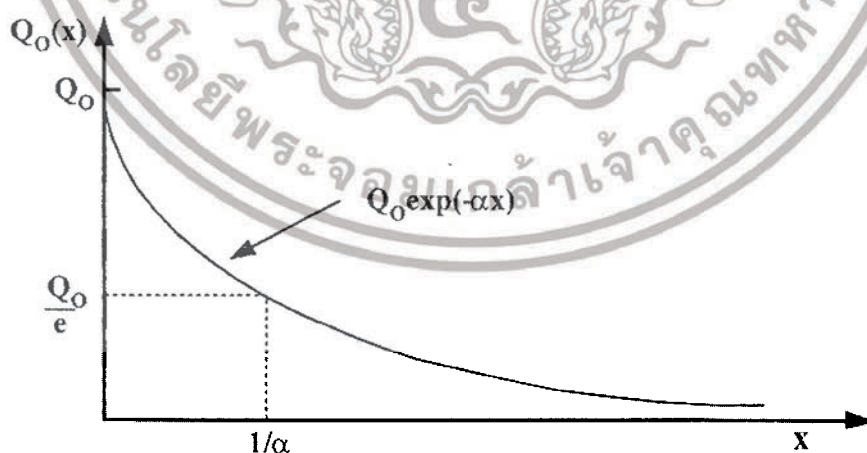
$$Q(x) = Q_0 \exp(-\alpha x) \quad (2.13)$$

โดยที่

$Q(x)$ คือ โฟตอนฟลักซ์ที่ความลึก x จากผิวสารกึ่งตัวนำ

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

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (cm^{-1})



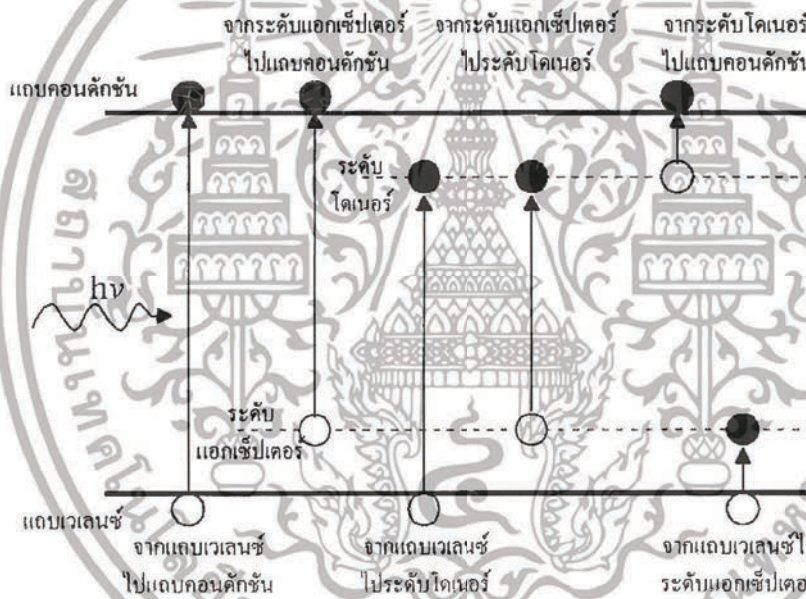
รูปที่ 2.10 การลดลงของโฟตอนฟลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำปริมาณของโฟตอนฟลักซ์ที่ลดลงเกิดจากการดูดกลืนโฟตอนภายในสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และรูปที่ 2.10 การลดลงของโฟตอนพลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ โดยส่วนกลับของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงคือระยะทางที่โฟตอนพลักซ์ที่ผ่านเข้าไปในสารกึ่งตัวนำแล้วมีค่าลดลง $1/e$ เท่าของค่าเริ่มต้น

2.3.2 การดูดกลืนแสงในช่องว่างแถบพลังงาน

การดูดกลืนแสงในช่องว่างแถบพลังงานหรือการดูดกลืนแสงแบบเอ็กซีตริชันเป็นการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานภายในช่องว่างแถบพลังงาน เมื่อเติมสารเจือปนหรืออะตอมแปลกปลอมเข้าสู่ผลึกสารกึ่งตัวนำจะทำให้เกิดระดับพลังงานต่างๆ ขึ้นในแถบ พลังงานต้องห้าม เราเรียกระดับช่องว่างในแถบพลังงาน (gap state) โดยระดับในช่องว่างแถบพลังงานเหล่านี้สามารถเป็นศูนย์กลางของการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนที่ดูดกลืนแสงได้ด้วย รูปที่ 2.11 แสดงการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ในช่องว่างแถบพลังงาน



รูปที่ 2.11 แสดงการดูดกลืนแสงจากระดับพลังงานต่างๆ ในช่องว่างแถบพลังงาน

โดยปกติอะตอมสารเจือที่เติมเข้าไปจะมีพลังงานกระตุ้น(activation energy) น้อยกว่าช่องว่างแถบพลังงาน(E_g) ดังนั้นโฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่าขอบของการดูดกลืนแสงจากพื้นฐานจึงสามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนจากระดับสารเจือไปยังแถบคอนดักชันได้ในกรณีของอะตอมสารเจือโดเนอร์หรืออะตอมสารเจือผู้ให้ และสามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ไปยังระดับสารเจือในกรณีของสารเจือแอกเซ็ปเตอร์หรือสารเจือผู้รับ ดังนั้นการดูดกลืนแสงแบบนี้จึงเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดกลืนพลังงานโฟตอน 2 แบบ คือการดูดกลืนพลังงานโฟตอน โดยอะตอมสารเจือในสารกึ่งตัวนำและสารดูดกลืนโฟตอน โดยเวเลนซ์อิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การดูดกลืนแสงด้วยเอกซิตรอน

ในสารกึ่งตัวนำการกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดไปสู่แถบคอนดักชันและเหลือโฮลไว้ในแถบเวเลนซ์นั้น บางครั้งถ้าการกระตุ้นมีพลังงานไม่เพียงพอ อาจทำให้อิเล็กตรอนและโฮลยังคงมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกันให้เป็นคู่อยู่เรียกว่าเอกซิตรอน (excitron) เอกซิตรอนเป็นคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่ไม่เป็นอิสระแต่อยู่ในสภาพจับคู่กัน เกิดขึ้นเพราะพลังงานโฟตอนของแสงไม่สูงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนและโฮลเป็นอิสระต่อกัน ถ้าสังเกตดูการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดเอกซิตรอนจะพบว่าสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงมีรูปยอดแหลมและมีพลังงานโฟตอนน้อยกว่าขนาดของช่องว่างเล็กน้อย

2.3.4 การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนอิสระ

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

2.3.5 การดูดกลืนแสงด้วยโพลาริเซชันในวัสดุไดอิเล็กตริก

การวางวัสดุไดอิเล็กตริกไว้ในสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดการแตกขั้วเป็นโพลาริเซชัน (polarization) และถ้าสนามไฟฟ้ามีการกลับขั้วไปมาก็จะทำให้โพลาริเซชันนั้นสั่นตามและเกิดการดูดกลืนพลังงานจากสนามไฟฟ้าได้ เนื่องจากแสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีสนามไฟฟ้าอยู่ในตัว ดังนั้นแสงจึงถูกโพลาริเซชันในวัสดุไดอิเล็กตริกดูดกลืนได้ ย่านความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนจะมีค่าเท่าไรนั้นจะขึ้นกับชนิดของโพลาริเซชันว่าเป็นชนิดใด

2.3.6 การดูดกลืนแสงด้วยการสั่นของโครงผลึก

ตามปกติอะตอมที่ประกอบกันเป็นวัสดุนั้น ณ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ไม่ได้อยู่นิ่งเฉย แต่จะมีการสั่นรอบๆตำแหน่งสมดุลเสมอ และถ้าเป็นอะตอมที่มีขั้วไฟฟ้าแบบไอออนอยู่บ้าง ก็จะทำให้ไอออนบวกและลบสั่นสลับข้างกัน เมื่อเป็นเช่นนั้นถ้ามีแสงมาตกกระทบวัสดุเช่นนี้ แสงที่มีความถี่เท่ากับการสั่นของไอออนก็จะถูกวัสดุนั้นดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

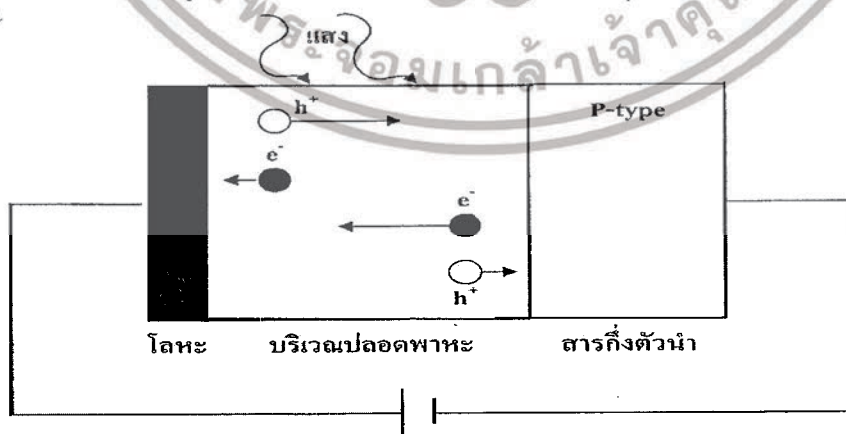
การตรวจจับหรือวัดแสงมีส่วนสำคัญมากในการนำแสงมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากแสงมีความยาวคลื่นต่างๆ และมีความเข้มแสงมากน้อยต่างกันตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นการคิดค้นและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดแสงให้มีความเหมาะสมกับย่าน ความยาวคลื่นที่ใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำแสงมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยหลักสำคัญของอุปกรณ์ตรวจวัดแสงที่ดีคือให้การตอบสนองที่ดีกับแสงความยาวคลื่นย่านที่ต้องการ ใช้งานและให้การตอบสนองที่ดีกับความยาวคลื่นแสงในช่วงอื่น

นอกจากนั้นยังควรมีการตอบสนองเชิงเวลาที่เร็ว มีสัญญาณรบกวนต่ำ ใช้แรงดันไบอัสต่ำ มีความเสถียรกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง มีขนาดเล็ก และราคาประหยัด ทั้งนี้คุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นจะขึ้นกับวัสดุที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสงและลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียด อุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเป็นสิ่งที่ประดิษฐ์ตรวจวัดแสงประเภท โฟโตอิเล็กทริกแบบภายในที่มีรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ โดยเมื่อมีแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อจะเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันขึ้น

2.4.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนสัญญาณแสงอินพุตเป็นสัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ โดยพลังงานโฟตอนของแสงมีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ($h\nu \geq E_g$) แสงก็จะถูกดูดกลืนและพลังงานโฟตอนของแสงจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดจากแถบเวเลนซ์ไปสู่แถบคอนดักชันและเหลือโฮลไว้ที่แถบเวเลนซ์สนามไฟฟ้าจากรอยต่อจะพัดพาอิเล็กตรอนและโฮล ไปยังโลหะและสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร



รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าโฟโต (I_p) ที่เกิดจากประจุพาหะอิสระเนื่องจากแสงเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า สามารถหาได้จากผลต่างของกระแสไฟฟ้ารั่วไหลย้อนกลับขณะได้รับการฉายด้วยแสง(I_r) กับกระแสไฟฟ้ามืด (I_d) ดังนั้น $I_p = I_L - I_d$ โดยที่กระแสไฟฟ้าโฟตอนหาได้จากสมการ

$$I_p = \frac{\eta q P_{op}}{h\nu} \tag{2.14}$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพควันตัม (quantum efficiency) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนพาหะที่เดินทางไปถึงขั้วไฟฟ้าต่อจำนวนโฟตอนตกกระทบ

สำหรับกระแสไฟฟ้ามืดของขอตัก์โฟโตไดโอดฟิล์มเพชรเกิดได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งสามารถแสงได้ดังสมการ

$$I_d = I_{d-G-R} + I_{d-diffusion} + I_{d-surface} \tag{2.15}$$

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

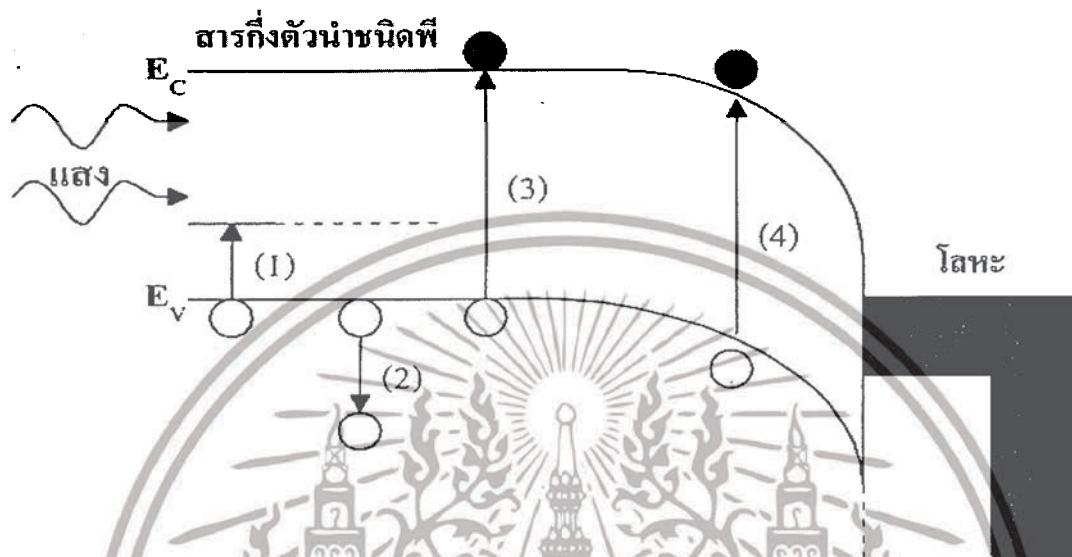
โดยที่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 กลไกการดูดกลืนแสงและการเกิดกระแสไฟฟ้า

เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนสารกึ่งตัวนำและมีการไบอัสย้อนกลับที่รอยต่อ จะเกิดกลไกการดูดกลืนแสงในลักษณะต่างๆตามหมายเลข ในรูปที่ 2.13 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 กลไกการดูดกลืนแสงแบบต่างๆในรอยต่อขอตัก์โฟโตไดโอดโอดฟิล์มเพชร (ไบอัสย้อนกลับ)

1) เป็นการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำระหว่างแถบเวเลนซ์และระดับแอกเซ็ปเตอร์ แต่ในที่สุดประจุพาหะอิเล็กตรอนส่วนใหญ่ก็จะตกลงมารวมกันที่โฮล จึงทำให้ไม่มีผลต่อกระแสเอาต์พุตมากนัก

2) เป็นการดูดกลืนแสงโดยโฮลอิสระ (free hole absorption) ในแถบเวเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำโดยเพียงแต่ระดับพลังงานของโฮลจะลดลงและระดับพลังงานของอิเล็กตรอนสูงขึ้น จึงไม่ก่อให้เกิดกระแสเอาต์พุต

3) เป็นการดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำที่ตำแหน่งใกล้บริเวณปลอดพาหะมากโดยพาหะอิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะส่วนน้อยมีความน่าจะเป็นสูงในการแพร่ซึมเข้าไปในบริเวณชั้นปลอดพาหะ และอิเล็กตรอนจะถูกสนามไฟฟ้าในชั้นปลอดพาหะพัดให้ไหลไปสู่ชั้นโลหะ ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีผลต่อกระแสเอาต์พุต

4) เป็นการดูดกลืนแสงและผลิตคู่อิเล็กตรอนและโฮลในชั้นปลอดพาหะ โดยอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นจะถูกสนามไฟฟ้าในชั้นปลอดพาหะพัดแยกจากกันให้ไหลไปยังโลหะและสารกึ่งตัวนำตามลำดับ ซึ่งการดูดกลืนแสงชนิดนี้จะมีผลต่อกระแสเอาต์พุตมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

การที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะมีประสิทธิภาพการทำงานสูงนั้นนอกจากจะขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์แล้ว การออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ก็เป็นส่วนที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการออกแบบโครงสร้างแล้ววิธีการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบชนิดที่ไดโอดฟิล์มเพชร ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบชนิดที่ไดโอดฟิล์มเพชร

รอยต่อชนิดที่เกิดจากการสัมผัสระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำแล้วรอยต่อมีคุณสมบัติให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียว โดยเมื่อให้ไบอัสย้อนกลับแก่รอยต่อจะทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้น ซึ่งบริเวณปลอดประจุพาหะนี้จะมีมีความสำคัญมากในการรับแสงแล้วทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลขึ้น โดยประจุพาหะทั้งสองชนิดจะถูกปิดไปยังขั้วโลหะทั้งสองด้วยความต่างศักย์ภายในบริเวณรอยต่อ การออกแบบให้มีบริเวณปลอดพาหะมีความกว้างมากๆจะทำให้ได้ปริมาณของคู่ประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากแสงเพิ่มขึ้น ฟิล์มเพชรมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบโพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ซึ่งมีเส้นพรมแดนของผลึก (grain boundaries) จำนวนมาก ดังนั้นอุปกรณ์ทางแสงแบบพลาณา (planar) ที่สร้างบนฟิล์มเพชรจะประสบปัญหาของคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากแสงต้องเดินทางผ่านเส้นพรมแดนของผลึก ทำให้เกิดการลดลงของปริมาณประจุพาหะและทำให้เวลาตอบสนองของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากประจุพาหะต้องใช้เวลาในการเดินทางผ่านเส้นพรมแดนของผลึก ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแสงแบบชนิดที่ไดโอดฟิล์มเพชรในรายงานฉบับนี้จึงออกแบบให้อุปกรณ์ทำงานในแนวตั้งซึ่งเป็นที่ทิศทางขนานไปกับเส้นพรมแดนของผลึกทำให้สามารถลดอิทธิพลของเส้นพรมแดนของผลึกที่มีต่อทิศทางการเดินของกระแสไฟฟ้าได้ และนอกจากนี้การออกแบบให้บริเวณปลอดพาหะมีความกว้างใกล้เคียงกับขนาดของผลึก (grain size) จะทำให้ประจุพาหะอิสระที่เกิดจากแสงในบริเวณรอยต่อเคลื่อนที่ไปยังขั้วโลหะโดยไม่ผ่านเส้นพรมแดนผลึกซึ่ง เสมือนว่าประจุพาหะเดินทางในโครงสร้างแบบผลึกเดี่ยว (single crystalline)

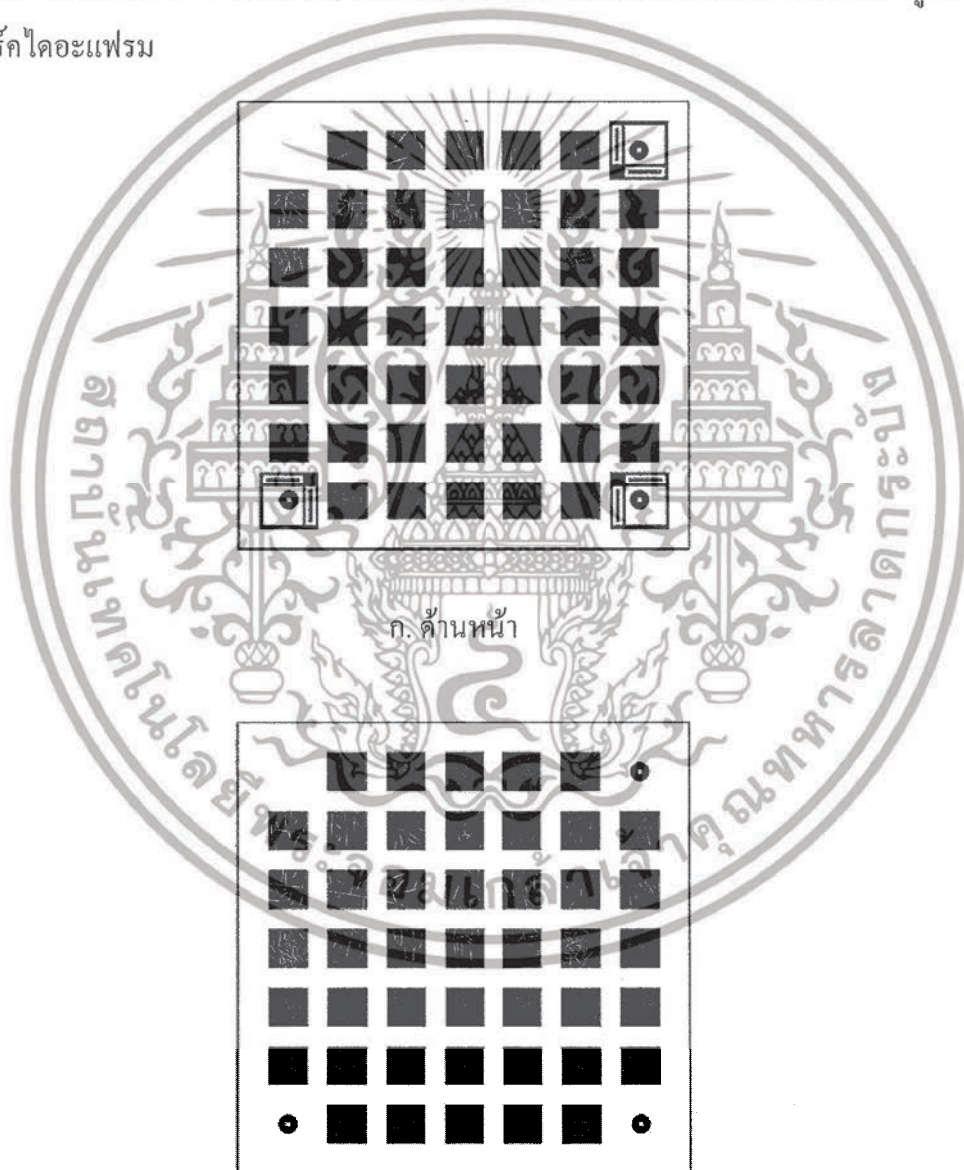
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาร์คที่ใช้ในการสร้างชอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ในการทดลองเราใช้มาร์คในการสร้างทั้งหมด 2 มาร์ค ประกอบด้วยมาร์คไดอะแฟรม และ มาร์คขั้วโลหะ

1. มาร์คไดอะแฟรม

การทดลองเราออกแบบชอตต์กีไดโอดฟิล์มเพชรให้มีพื้นที่รอยต่อชอตต์ ดังนั้นในการออกแบบมาร์คไดอะแฟรมจึงต้องออกแบบขนาดความกว้างและยาว ($W_x \times W_y$) ให้มีขนาด 2391×2391 ไมครอนตาม รายละเอียดวิธีการออกแบบไดอะแฟรมแสดงในหัวข้อต่อไป รูปที่ 3.1 แสดงมาร์คไดอะแฟรม



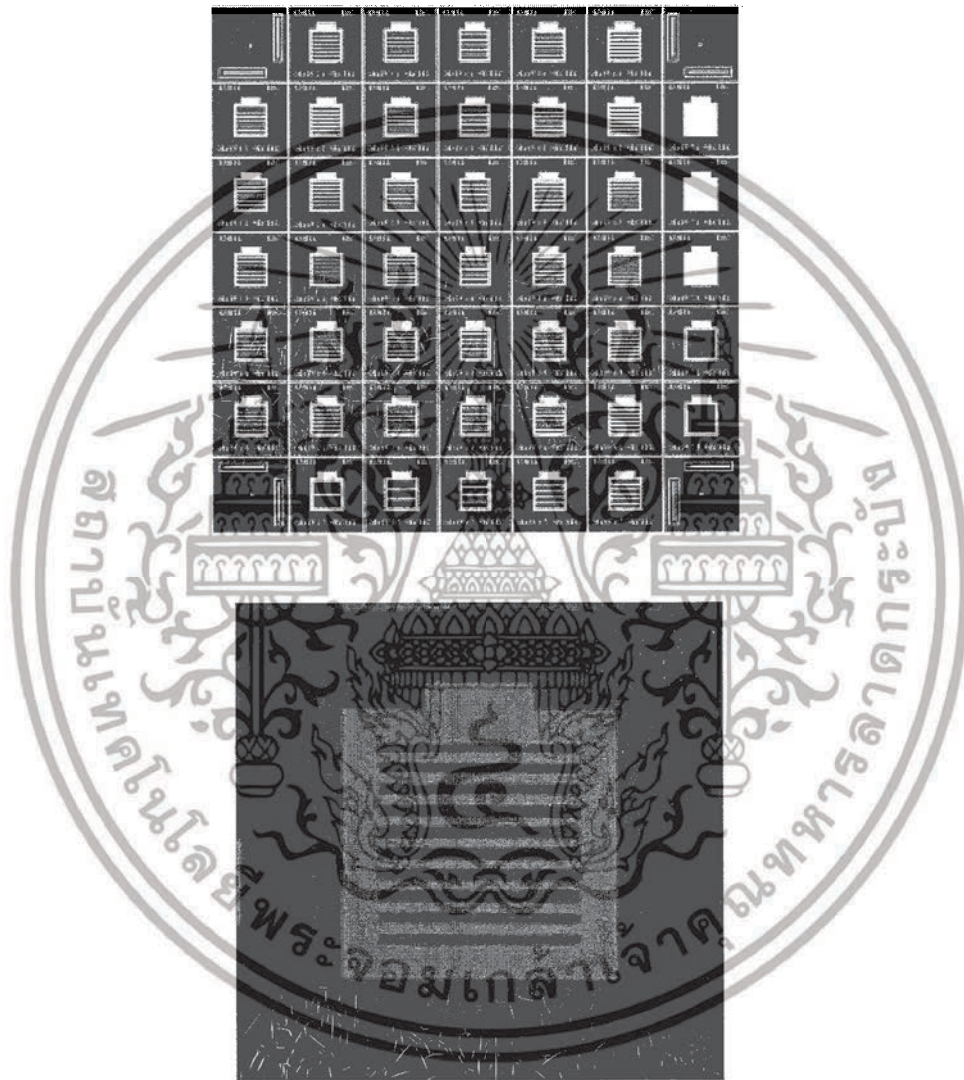
ข. ด้านหลัง

รูป 3.1 มาร์คไดอะแฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

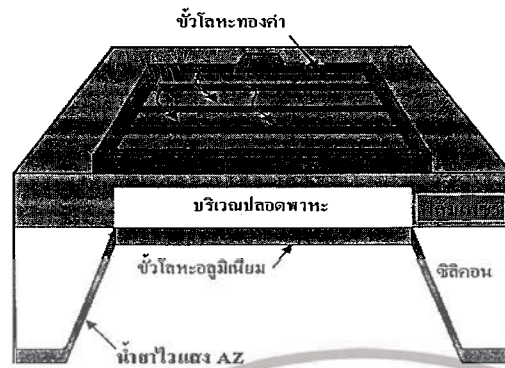
2. มาร์คซ์วโลหะ

การทดลองเรอออกแบบมาร์คซ์วโลหะให้มีระยะห่างระหว่างขั้วโลหะด้านบน (G) และมีขนาดของขั้วโลหะ (W) ในการทดลองเรอออกแบบให้ชอตต์กี้ไดโอดฟิล์มเพอร์มีพื้นที่ขั้วไฟฟ้า ($L_1 \times L_2$) 100*100 ไมครอน รูปที่ 3.2 แสดงมาร์คการสร้างอุปกรณ์ชอตต์กี้โพโตไดโอดฟิล์มเพอร์ และรูปที่ 3.3 แสดงภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ชอตต์กี้โพโตไดโอดฟิล์มเพอร์



รูป 3.2 มาร์คซ์วโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.3 ภาพจำลองโครงสร้างอุปกรณ์ขอตค้ไฟ โดโด โอดฟิล์มเพชร

3.2 การออกแบบไดอะแฟรม

โครงสร้างของอุปกรณ์ขอตค้ไฟ โดโด โอดฟิล์มเพชรประกอบด้วยไดอะแฟรมบางของฟิล์มเพชรเป็นส่วนสำคัญ ด้วยเหตุนี้การกัดซิลิคอนบางส่วนออกเพื่อให้เหลือเป็นไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ ไดอะแฟรมของฟิล์มเพชรเกิดจากการกัดฐานรองซิลิคอนระนาบ (100) ออกโดยสารละลายที่มีลักษณะการกัดเป็นแบบแอนไอโซโทรปิก (anisotropic) คือการกัดที่ตัวกัด (etching) ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายจะกัดเนื้อสารในทิศทางหรือระนาบต่างๆ ของผลึกไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูป 3.4

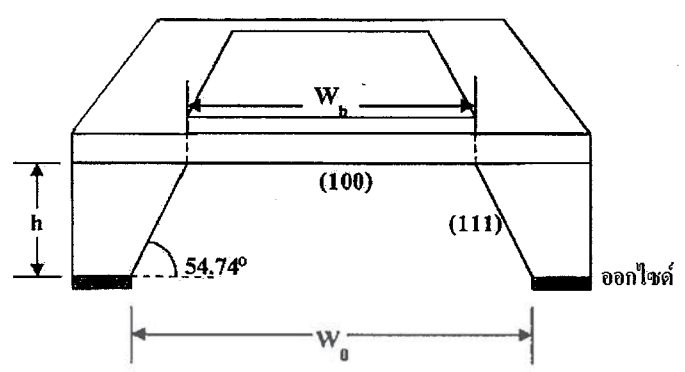
ดังนั้นการออกแบบปากหลุมจึงมีความสัมพันธ์กับความกว้างของก้นหลุม ถ้าเปิดปากหลุมกว้างเท่ากับ W_0 และทำการกัดได้ลึกเท่ากับ h จะได้ขนาดความกว้างก้นหลุม W_b ดังสมการ

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.4 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการกัดแบบแอนไอโซโทรปิก

3.3 ขั้นตอนกระบวนการสร้าง

3.3.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

ฟิล์มเพชรถูกสังเคราะห์บนฐานรองซิลิคอนด้วยวิธีการ CVD แบบลวดความร้อนที่ความดันต่ำ รูปที่ 3.5 แสดงภาพถ่ายเครื่องสร้างฟิล์มเพชร ฟิล์มเพชรที่สร้างบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้แหล่งจ่ายเป็นไฮโดรเจนของมีเทน (CH₄) กระตุ้นก๊าซพลเพื่อให้แยกอะตอมของคาร์บอนออกมา



รูปที่3.5 ภาพถ่ายเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

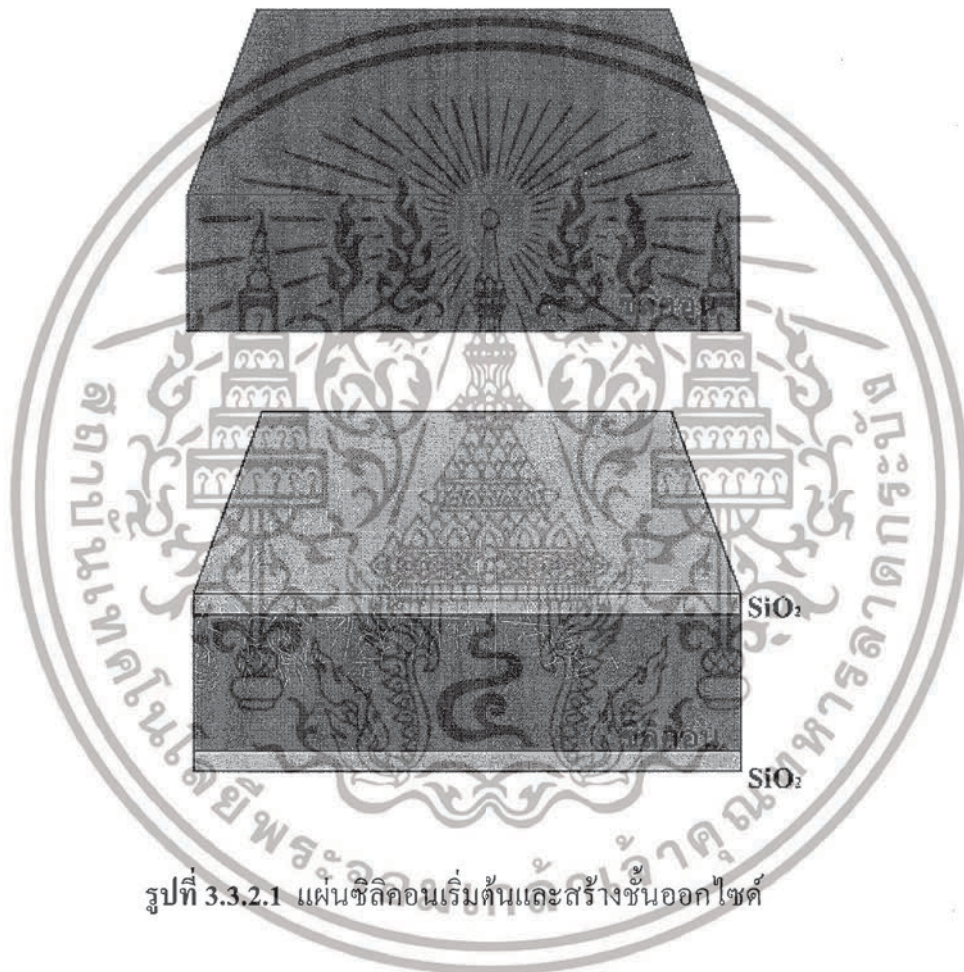
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดแสง โครงสร้างแบบขอตต์กีไดโอดฟิล์มเพชร

3.3.2.1 แผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

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

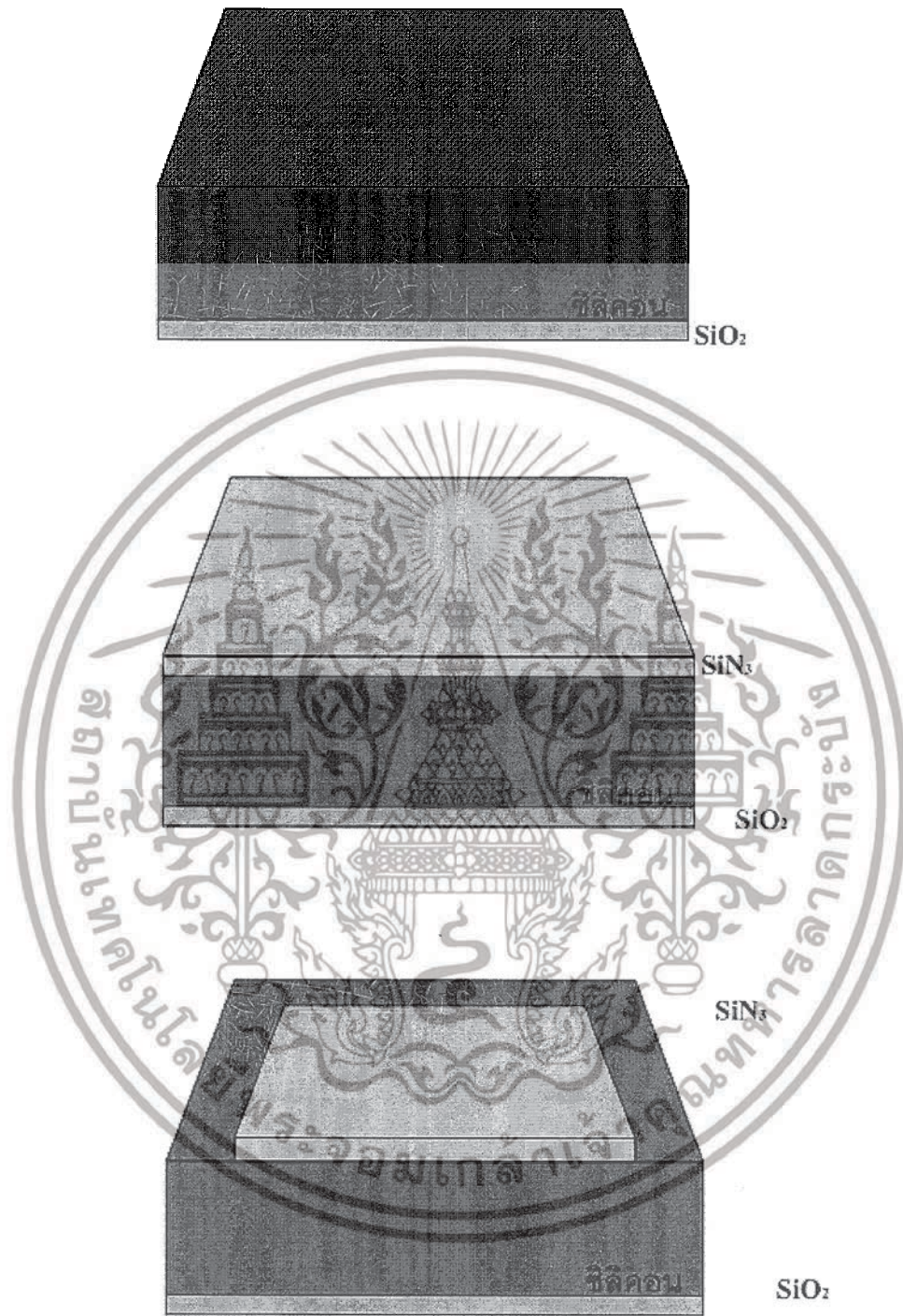


รูปที่ 3.3.2.1 แผ่นซิลิคอนเริ่มต้นและสร้างชั้นออกไซด์

3.3.2.2 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

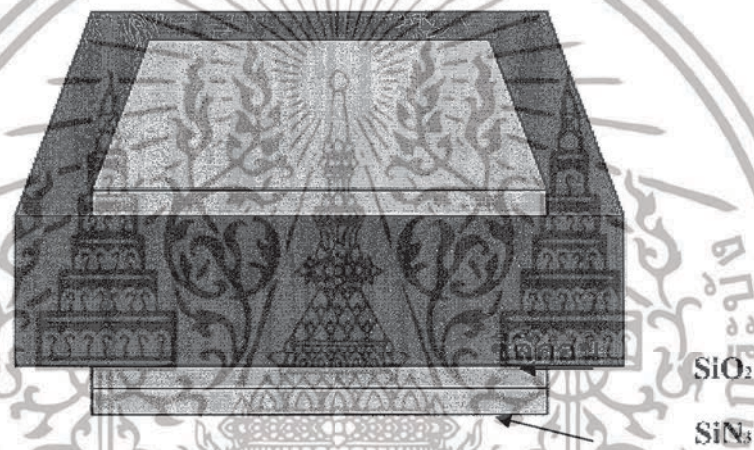
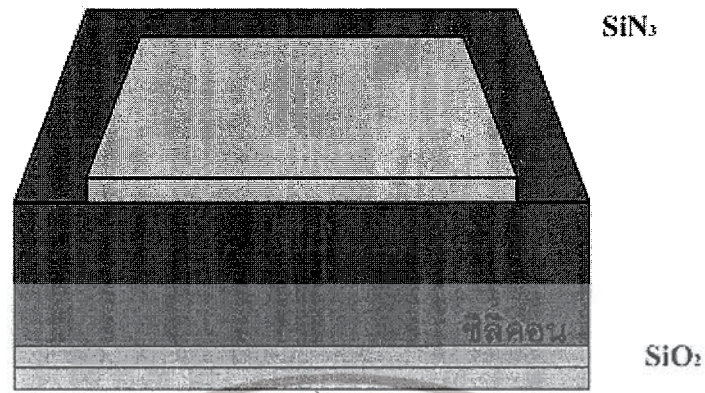
แผ่นซิลิคอนที่สร้างชั้นออกไซด์ถูกนำมาลอกชั้นออกไซด์ด้านหน้าซิลิคอนที่ผิวขัดมันออก จากนั้นขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน แล้วจะนำแผ่นซิลิคอนมาสร้างซิลิคอนไนไตรด์และทำมาร์คปิดเพื่อป้องกันส่วนที่ขัดเป็นรอย ทำแบบนี้ทั้งข้างบนและข้างล่าง จากนั้นสร้างออกไซด์แบบ DRY 1 ชั่วโมงและ WET 12 ชั่วโมง ความหนา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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

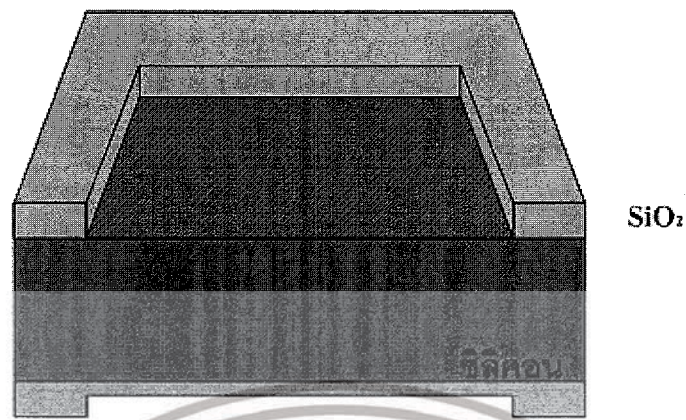


รูปที่ 3.3.2.2 สร้างชั้นไนไตรด์ และปิดมาร์กด้านบนและด้านล่าง



รูปที่ 3.3.2.2 สร้างชั้นออกไซด์เพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2.2 ทำความสะอาด เอชเอ็นไอไดร์ออก



รูปที่ 3.3.2.2 สร้างฟิล์มเพชร

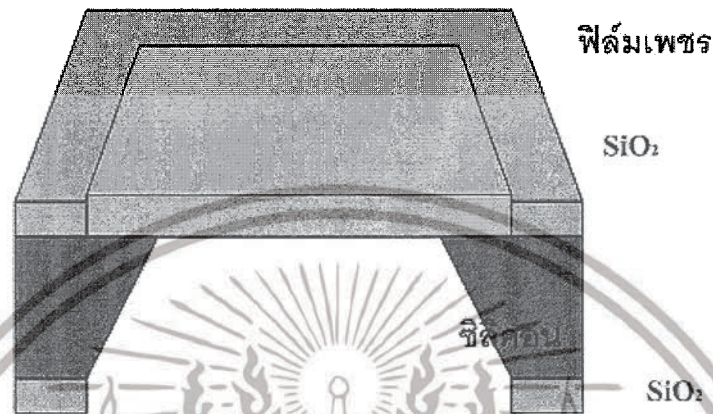


รูปที่ 3.3.2.2 กัดออกไซด์ด้านล่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 การกัดไดอะแฟรม

นำฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้มากัดไดอะแฟรมตามทีออกแบบไว้ด้วยสารละลาย EPD โดยมีชั้นออกไซด์เป็นตัวป้องกันส่วนที่ไม่ต้องการให้เกิดปฏิกิริยากัด



รูปที่ 3.3.2.3 กัดซีลคอนออกเหลือแต่ไดอะแฟรมฟิล์มเพชร

3.3.2.4 การเคลือบโลหะทองคำ

นำฟิล์มเพชรที่สร้างได้จากข้อ 3.3.2.4 มาสร้างขั้วไฟฟ้าทองคำด้วยเครื่องเคลือบโลหะในสุญญากาศ โดยอาศัยเทคนิคโฟโวลติโรกราฟีใช้น้ำยาไวแสงชนิดบวก AZ เป็นตัวป้องกันเพื่อให้ได้ลวดลายตามทีได้ออกแบบไว้

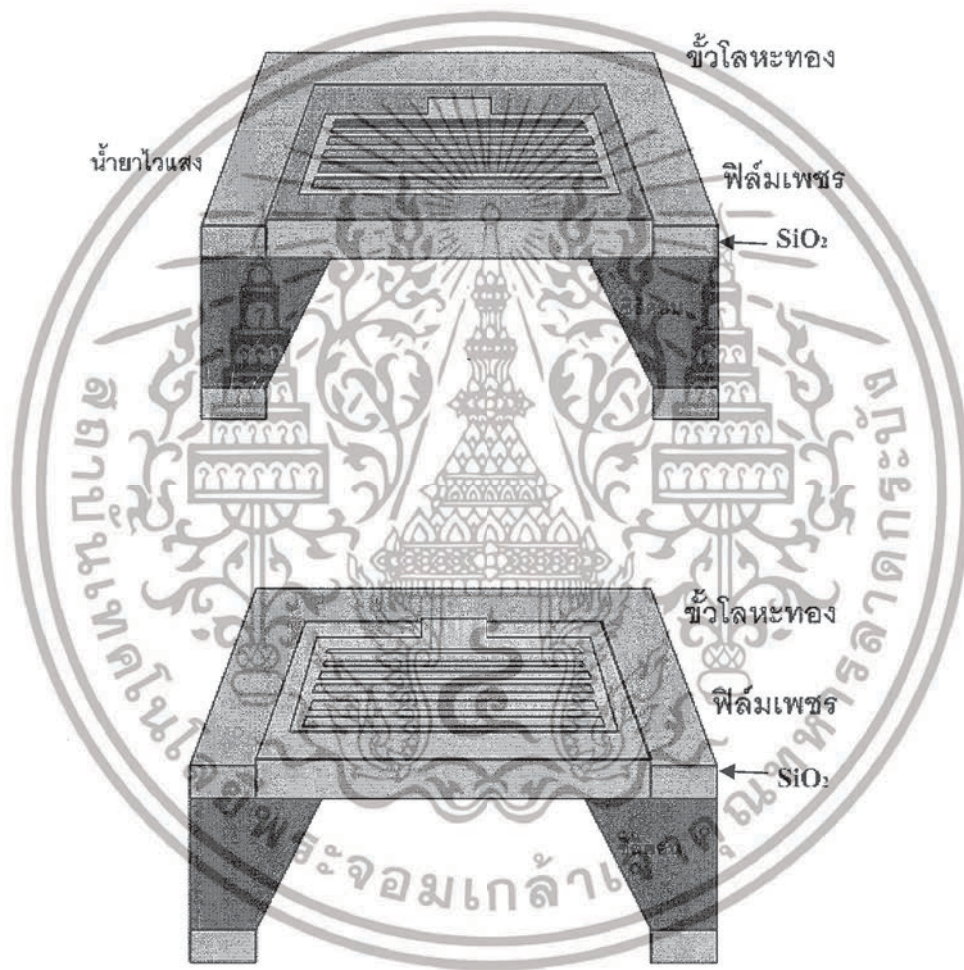


รูปที่ 3.3.2.4 เทคนิคโฟโวลติโรกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.5 การลอกชั้นน้ำยาไวแสง

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

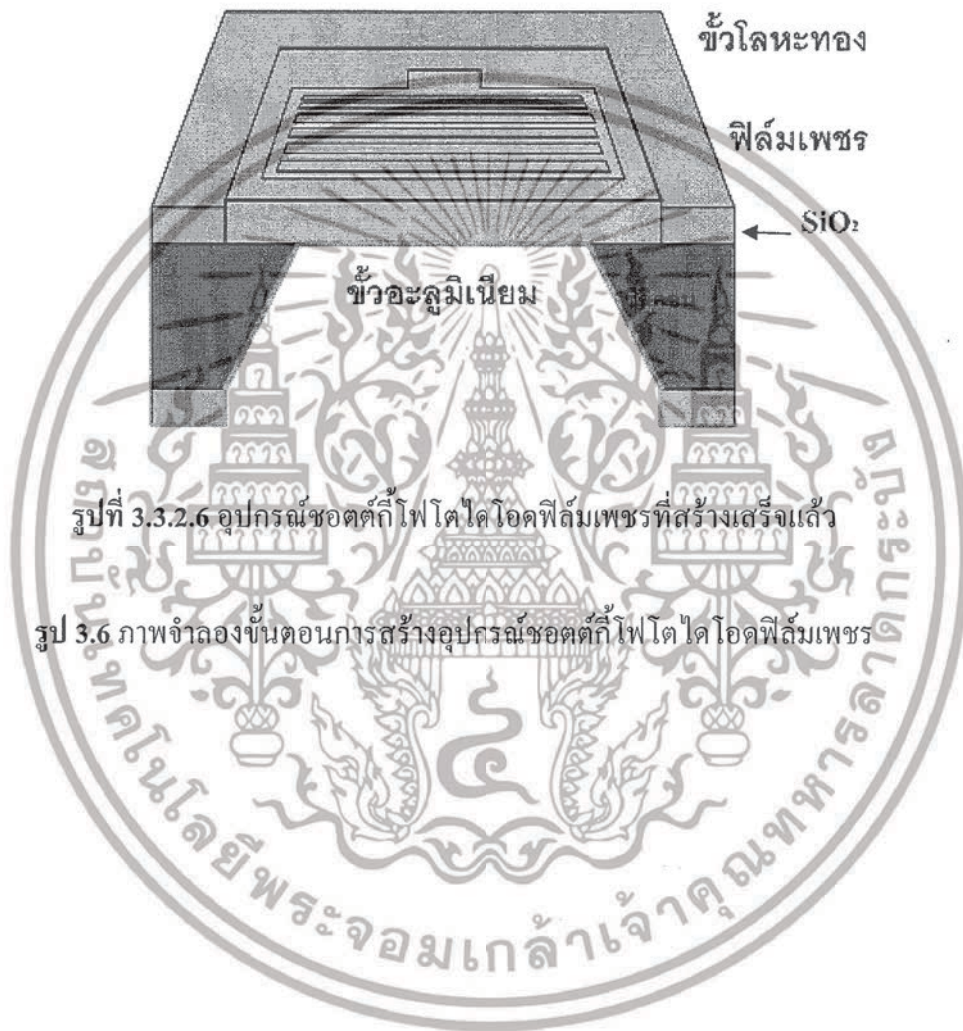


รูปที่ 3.3.2.5 การลอกชั้นน้ำยาไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 การเคลือบโลหะอลูมิเนียม

นำฟิล์มเพชรที่กัดเป็น ไคอะแฟรมเรียบร้อมแล้วมาสร้างรอยต่อขอตักที่บริเวณด้านล่าง โดย ใช้วิธีการเคลือบโลหะอลูมิเนียมในสุญญากาศ จากนั้นนำไปซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 ลิตร ต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 3.3.2.6 อุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างเสร็จแล้ว

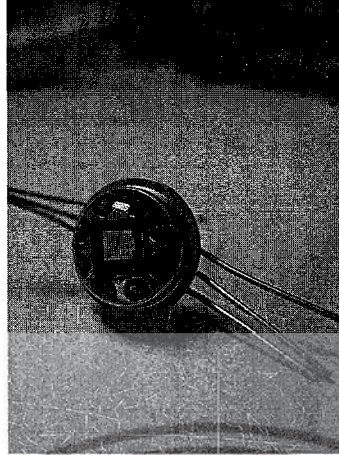
รูป 3.6 ภาพจำลองขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ขอตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายโคอะเฟรมฟิล์มเพชรที่เกิดจากการกัดฐานร่องชิลิคอน
ด้วยสารละลาย EPD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. อุปกรณ์เดี่ยว

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

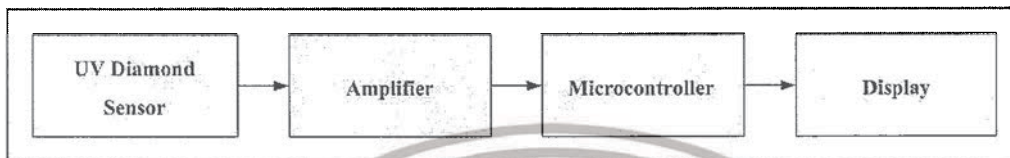
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์ชุดตักโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่สร้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

Sensor Application

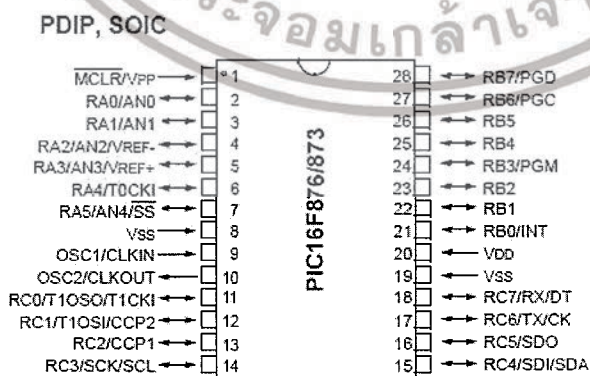
4.1 การออกแบบวงจรควบคุมด้วย Microcontroller



รูปที่ 4.1 Block diagram

4.1.1 Microcontroller

ส่วนของ Application เป็นเครื่องวัด UV ได้มีการนำ Microcontroller มาใช้เป็นตัวประมวลผลในเครื่องวัด โดยเลือกใช้ Microcontroller ตระกูล PIC 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 นั้นมีพอร์ตน้อยกว่า จำนวนขาน้อยกว่า (16F876มี28ขา และ16F877มี40ขา) และขนาดก็เล็กกว่าด้วย จึงทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องวัดได้อีก



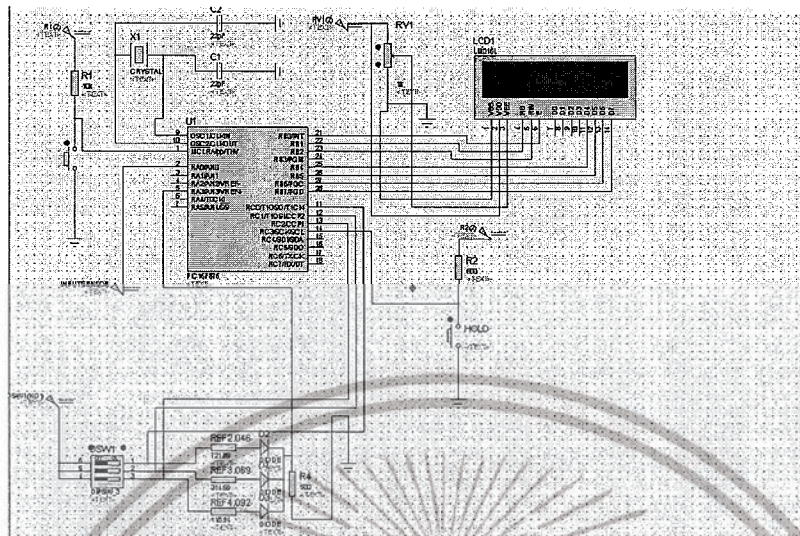
รูปที่ 4.2 Microcontroller 16F876

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 (ขา15) ถ้าใช้แรงดันอ้างอิงภายใน ไม่สามารถให้ความละเอียดของข้อมูลได้เพียงพอ ซึ่งในส่วนเครื่องวัด ต้องการให้ PIC สามารถแสดงผลออกมาเป็น 1mV ได้ แต่ถ้าใช้แรงดันภายใน (5V) ไม่สามารถทำได้ $5/1023 = 0.0048V$ ตัวเลข 1023 คือความละเอียด 10 บิต ($2^{10} = 1024$) นั่นคือADCสามารถตรวจจับค่าแรงดันได้ 1024 ค่า (0-1023) ดังนั้นการแก้ปัญหาที่คือ ลดขนาดแรงดันอ้างอิง จึงต้องใช้แรงดันอ้างอิงจากภายนอก ซึ่งแรงดันที่เหมาะสมควรจะเป็นแรงดันที่มีตัวเลข 1023 เป็นพื้นฐาน เช่น 1.023V , 2.046V , 3.069V , 4.092V ถ้าเป็นแรงดันอื่นก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน แต่จะมีปัญหาคือค่าความผิดพลาด (error) ซึ่งถ้าเป็นแรงดันอินพุตต่ำจะ ไม่ค่อยมีปัญหา แต่ยิ่งป้อนแรงดันอินพุตสูงขึ้น จะมี error สะสม ทำให้ยิ่งผิดพลาดสูงมาก ซึ่งถ้าสามารถทำแรงดันอ้างอิงได้ดังที่กล่าวมาจะทำให้ตรวจจับแรงดันในหน่วย mV ได้พอดี และความผิดพลาดจะต่ำมาหรือ ไม่มีเลย 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 เพียงแค่นี้ ไม่สามารถตรวจจับแรงดัน1mV ได้ แต่สามารถตรวจจับ ได้ทีละ2mV แต่ error ส่วนนี้จะ ไม่มีการสะสม ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงที่ดีที่สุดที่สามารถใช้ได้ ในขณะที่ ทั้งนี้ในการออกแบบวงจรในเบื้องต้นจากการ Simulate ด้วย โปรแกรม ISIS ของ Proteus 6 Professional ประกอบกับการต่อวงจรจริงลงในแผ่นวงจรเอนกประสงค์ เนื่องจาก การ Simulate ไม่สามารถจำลองได้ทุกเงื่อนไข หรือ บางครั้งอาจให้ค่าที่ไม่สามารถนำมาปฏิบัติได้จริง จึงมีความจำเป็นต้องต่อวงจรจริงในแผ่นวงจรเอนกประสงค์

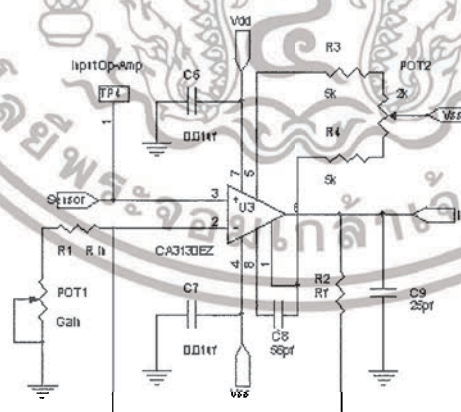
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรที่ใช้ในการ Simulate โดยโปรแกรม ISIS

4.1.2 วงจรขยาย (Amplifier)

ในการวัดค่าแรงดันจากเซนเซอร์โดยตรงจะให้แรงดันน้อยจึงต้องทำการขยายก่อนทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยจะมี Gain เท่ากับ 17 เท่า



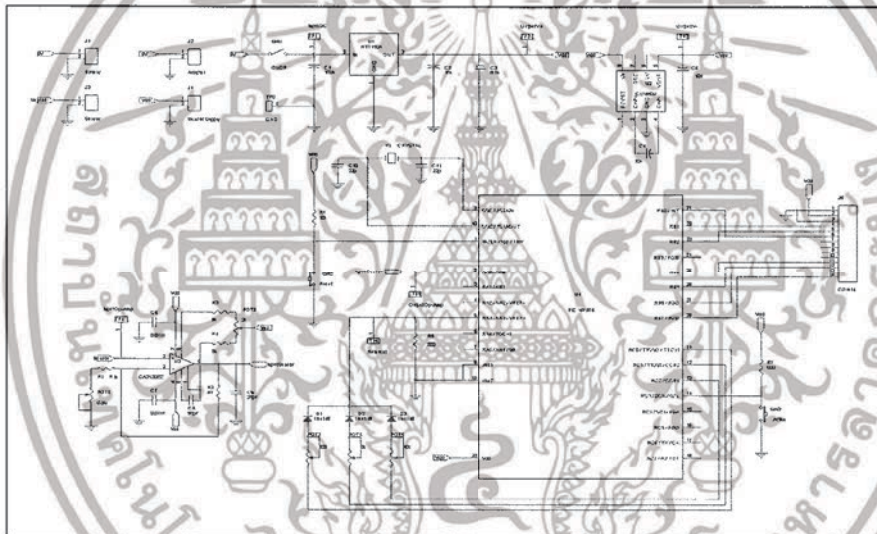
รูปที่ 4.4 วงจรขยาย (Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทำแผ่นวงจร หรือ PCB

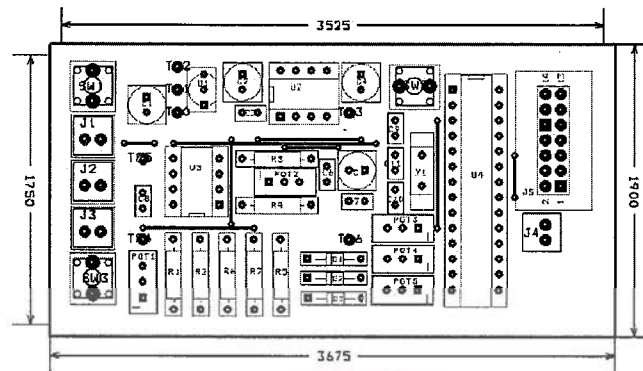
หลังจากการทดลองต่อวงจรที่ออกแบบไว้ลงบนแผ่นวงจรเอนกประสงค์และทำการทดสอบจนกระทั่งมั่นใจแล้วว่าวงจรทำงานถูกต้อง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำแผ่นวงจร หรือ PCB ในขั้นตอนการทำแผ่นวงจร หรือ PCB จะใช้โปรแกรม Orcad 9.2 ในการออกแบบโดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

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



รูปที่ 4.5 เขียนวงจร ด้วย โปรแกรม Orcad Capture CIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สร้างแผ่นวงจรจากเอกสารต้นแบบ



รูปที่ 4.7 เครื่องมือวัดแสงอัลตราไวโอเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

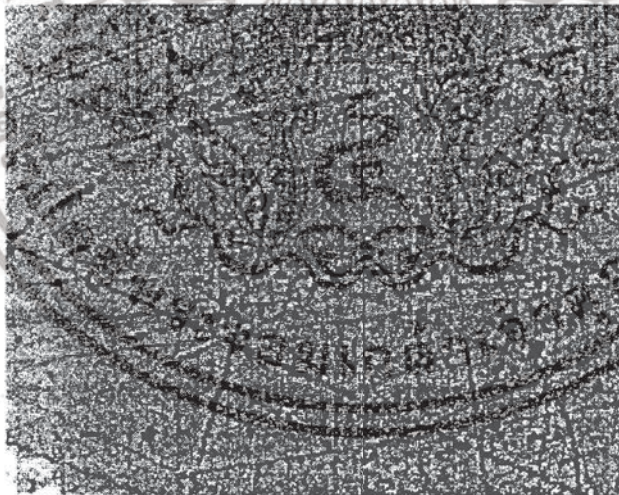
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

การสังเคราะห์ฟิล์มเพชรในการทดลองนี้ใช้วิธีการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำ ฟิล์มเพชรถูกสร้างบนฐานรองซิลิคอน ฟิล์มเพชรสร้างบนฐานรองซิลิคอนโดยใช้แหล่งจ่ายเป็นไอระเหยของมีเทน (CH_4) กระตุ้นก๊าซเฟสเพื่อให้แยกอะตอมของคาร์บอนออกมา รายละเอียดวิธีการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรแสดงในหัวข้อต่อไป

5.1.1 การเตรียมฐานรองซิลิคอน

ฟิล์มเพชรถูกสร้างลงบนฐานรองซิลิคอนที่ทำการขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชร สาเหตุที่ต้องขัดผิวหน้า เพื่อให้ง่ายต่อการเกิดนิวเคลียสของผลึกเพชร โดยการเกิดเพชรจะเริ่มต้นเกิดที่รอยขีดก่อนจากนั้นจึงเริ่มขยายขึ้นเรื่อยๆ การสร้างฟิล์มเพชรในการทดลองนี้เราใช้ฐานรองเป็นซิลิคอนระนาบ (100) ขัดผิวหน้าด้วยครีมเพชรขนาด 0.25 ไมครอน ภาพซิลิคอนที่ขัดผิวหน้าแล้วแสดงในรูปที่ 5.1 จากนั้นจึงนำซิลิคอนที่ขัดผิวหน้าเรียบร้อยแล้วไปเข้าเครื่องสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

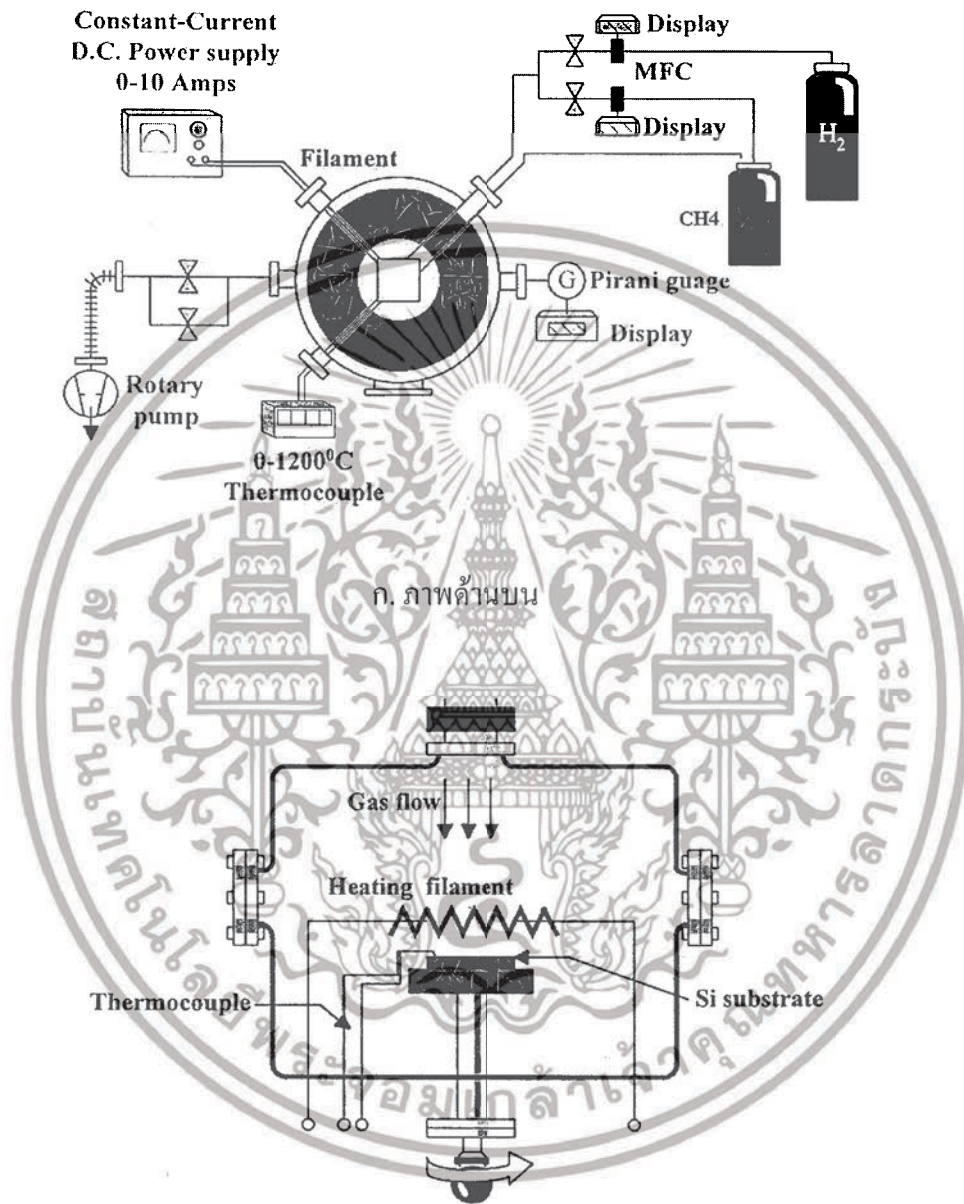


รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่าของผิวหน้า
แผ่นซิลิคอนที่ขัดด้วยครีมเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การสังเคราะห์ฟิล์มเพชร

แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชรด้วยวิธีการCVDแบบลดความร้อนที่ความดันต่ำแสดงในรูปที่ 5.2



ข) ภาพตัดขวางด้านหน้า

รูปที่ 5.2 แผนภาพไดอะแกรมของระบบเครื่องสร้างฟิล์มเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองสังเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยวิธีการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำ ระยะห่างระหว่างไส้ทั้งสแตงกับฐานรองซิลิคอนจะมีผลต่อขนาดของเม็ดผลึกเพชรโดยที่ระยะเวลาในการสังเคราะห์เท่ากัน จากการทดลองพบว่าถ้าลดระยะห่างระหว่างไส้ทั้งสแตงกับฐานรองซิลิคอนลงจะทำให้ขนาดของเม็ดผลึกเพชรใหญ่ขึ้น โดยในการทดลองระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสังเคราะห์ฟิล์มด้วยระบบนี้คือ 4 มิลลิเมตร เนื่องจากฐานรองซิลิคอนจะอยู่ใกล้กับลดทั้งสแตงมากโดยบริเวณนี้จะมีความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวมากทำให้การก่อตัวเป็นผลึกเพชรเกิดขึ้นได้เร็ว ในขณะที่ระยะห่างจากไส้ทั้งสแตงมากขึ้นความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวจะลดลงทำให้การก่อตัวของผลึกเพชรช้าลงด้วย สำหรับระยะห่างต่ำกว่า 3 มิลลิเมตรลงมา จะเกิดการแพร่กระจายของอุณหภูมิของไส้ลดทั้งสแตงมายังฐานรองซิลิคอนมากทำให้อุณหภูมิฐานรองสูงมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส อีกทั้งความหนาแน่นของก๊าซที่แตกตัวมีปริมาณมากทำให้ได้ผลึกเพชรรูปร่างเป็นแบบบอล (ball shape)

นอกจากนี้ในการทดลองพบว่าความดันที่ใช้ในขณะที่ทำการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรจะมีผลต่อขนาดพื้นของฟิล์มเพชรบนฐานรองซิลิคอน ผลการทดลองพบว่าที่ความดันต่ำการกระจายตัวของฟิล์มเพชรจะได้พื้นที่มากกว่าที่ความดันสูง ทั้งนี้เนื่องจากการสังเคราะห์ฟิล์มเพชรที่ความดันต่ำช่วงอายุ (lift time) ของก๊าซที่แตกตัวจะมีค่ามากกว่าช่วงอายุของก๊าซแตกตัวที่ความดันสูง ดังนั้นที่ความดันต่ำจะทำให้การเกิดนิวเคลียสสามารถกระจายตัวได้บริเวณกว้าง ทำให้ได้พื้นที่ฟิล์มเพชรบนฐานรองซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ในขณะเดียวกันถ้าความดันต่ำเกินไปก็จะทำให้อัตราการเกิดผลึกเพชรลดลงเนื่องจากปริมาณก๊าซที่จะเกิดปฏิกิริยาลดลงทำให้ต้องใช้เวลาในการสังเคราะห์นานขึ้น

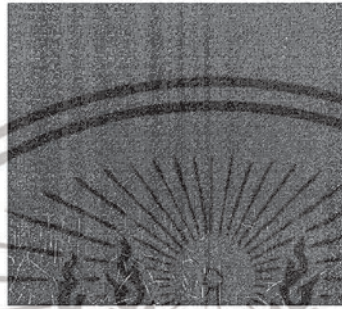
ฟิล์มเพชรที่ใช้นามาสร้างเป็นอุปกรณ์ต่างๆในการทดลองนี้จะสังเคราะห์บนฐานรองซิลิคอน โดยใช้แหล่งจ่ายเป็นไฮโดรเจนของมีเทน (CH_4) และผสมก๊าซไฮโดรเจน (H_2) โดยมีอัตราส่วน 2:200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที โดยมีเงื่อนไขการสังเคราะห์ฟิล์มดังนี้

1. อุณหภูมิฐานรอง 900 องศาเซลเซียส วัดด้วย thermocouple ที่สัมผัสอยู่บนผิวของฐานรองซิลิคอน
2. อุณหภูมิไส้ทั้งสแตง 2000 องศาเซลเซียส
3. ระยะห่างระหว่างไส้ลดทั้งสแตงกับฐานรองซิลิคอน 4 มิลลิเมตร
4. อัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ควบคุมโดย mass flow controller (MFC)
5. อัตราการไหลของแอลกอฮอล์ 1 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมโดย mass flow controller (MFC)
6. ควบคุมความดันที่ 50 ทอร์ วัดด้วย pirani gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เวลาในการสร้างฟิล์ม 5 ชั่วโมง ได้ฟิล์มเพชรพื้นที่ขนาด 1.2×1.5 ตารางเซนติเมตรความหนาประมาณ 4-5 ไมโครเมตร

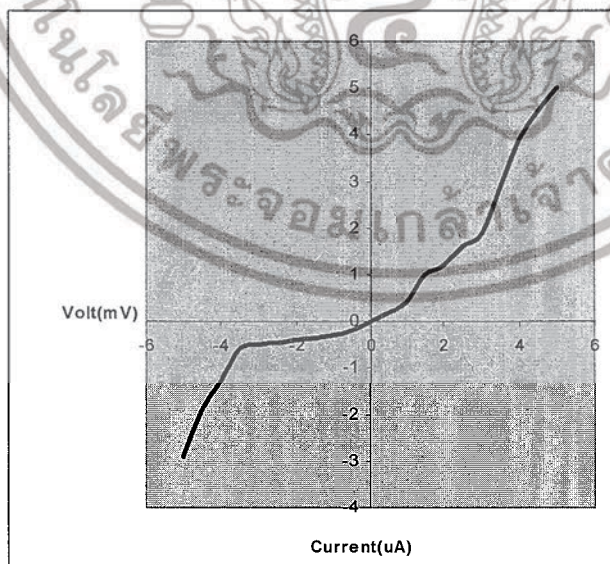
อัตราการก่อตัวของผลึกเพชรประมาณ 1 ไมครอนต่อชั่วโมง สำหรับภาพถ่ายฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้แสดงในรูปที่ 5.3 เป็นการสังเคราะห์ฟิล์มบนฐานรองซิลิคอนพื้นที่ขนาด 2.5×2.5 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายฟิล์มที่สังเคราะห์ได้ระยะเวลาสังเคราะห์ฟิล์ม 5 ชั่วโมง ความหนาฟิล์ม 4-5 ไมครอน พื้นที่ขนาด $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$

5.2 การศึกษาคุณลักษณะกระแสและแรงดันของขอตักกีโดโอดสร้างจากฟิล์มเพชร

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

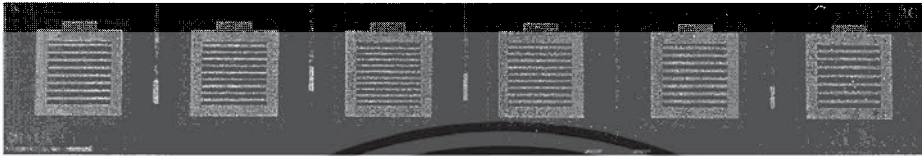


รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของขอตักกีโฟโตโอด ก่อนฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรโดยปริมาณต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงทั้งหมด 6 แบบของขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร ที่สร้างขึ้นตามเงื่อนไข $W/G = 80/80, 80/100, 80/120, 60/80, 60/100, 60/120$



รูปที่ 5.5 ขอตต์กีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรที่มีพื้นที่รับแสงต่างกัน

จากนั้นนำมาศึกษาคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์โดยการอุปกรณ์เพื่อวัดคุณลักษณะกระแสและแรงดันแล้วค่าความจุไฟฟ้า



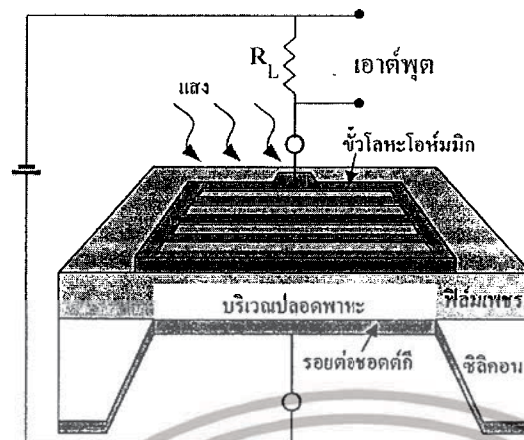
รูปที่ 5.6 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดคุณลักษณะของแรงดัน

5.3.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของขอตต์กีโฟโตไดโอดเมื่อได้รับฉายแสงสีเหลือง

นำอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโตไดโอดที่สร้างได้มาฉายด้วยแสงสีเหลืองเพื่อทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของการรับแสง การต่อวงจรเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางแสงต่างๆของอุปกรณ์ขอตต์กีโฟโต

ไดโอดเมื่อได้รับแสงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



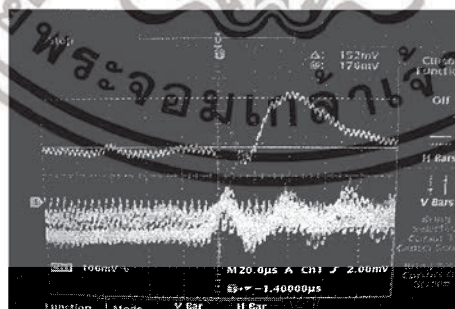
รูปที่ 5.7 การต่ออุปกรณ์ชอตต์กีโฟโตไดโอดเพื่อศึกษาคุณลักษณะทางแสงต่างๆ

ตารางที่ 5.1 แรงดันของชอตต์กีโฟโตไดโอดเมื่อได้รับแสง 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

5.3.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชอตต์กีโฟโตไดโอดเมื่อได้รับฉายแสงไฟแฟลช

นำอุปกรณ์ชอตต์กีโฟโตไดโอดที่สร้างได้มาฉายด้วยแสงไฟแฟลช โดยการจ่ายไฟในลักษณะนี้ คือการจ่ายแบบสัญญาณพัลส์โดยทดสอบกับอุปกรณ์ในรูปที่ 5.4 โดยจะนำอุปกรณ์ที่มีแรงดันตามตารางที่ 5.1 มาทดสอบ โดยจากการทดลองจะใช้อุปกรณ์ที่ดีที่สุด



รูปที่ 5.8 รูปสัญญาณที่ป้อนแสงไฟแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของขอตักกีโฟโตไดโอดเมื่อได้รับฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต

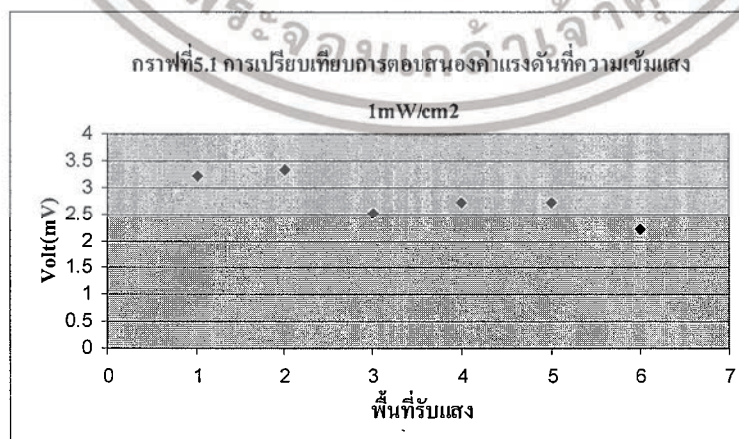
การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของขอตักกีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชรโดยปริมาณต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงทั้งหมด 6 แบบของขอตักกีโฟโตไดโอดฟิล์มเพชร ที่สร้างขึ้นตามเงื่อนไข ,80/120,60/80,60/100,60/120 โดย Sensor ไปประยุกต์ใช้งานเราจะต้องทำการเลือกตัว Sensor ดีที่สุดมาทำการใช้งาน โดยทำการใช้การเปรียบเทียบการตอบสนองค่าแรงดันและกระแสที่ความเข้มแสง 1 mW/cm^2 เพื่อหาอุปกรณ์ที่ดีที่สุดในการทดลอง

ตารางที่ 5.2 แรงดันของขอตักกีโฟโตไดโอดเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ 1 mW/cm^2

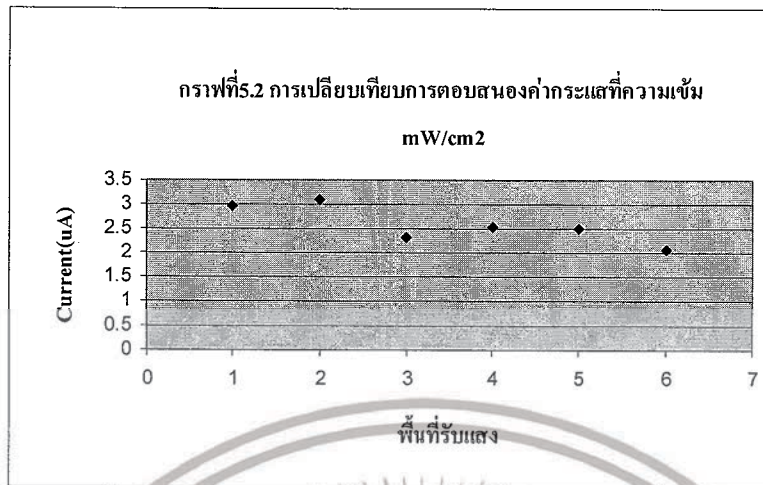
พื้นที่รับแสง (W/G)	1	2	3	4	5	6
Voltage(mV)	2.1	2.8	3	3.3	3.4	2.8
Current(uA)	2.97	3.09	2.32	2.52	2.5	2.05



รูปที่ 5.9 อุปกรณ์วัดแสงมาตรฐานและแหล่งกำเนิดแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



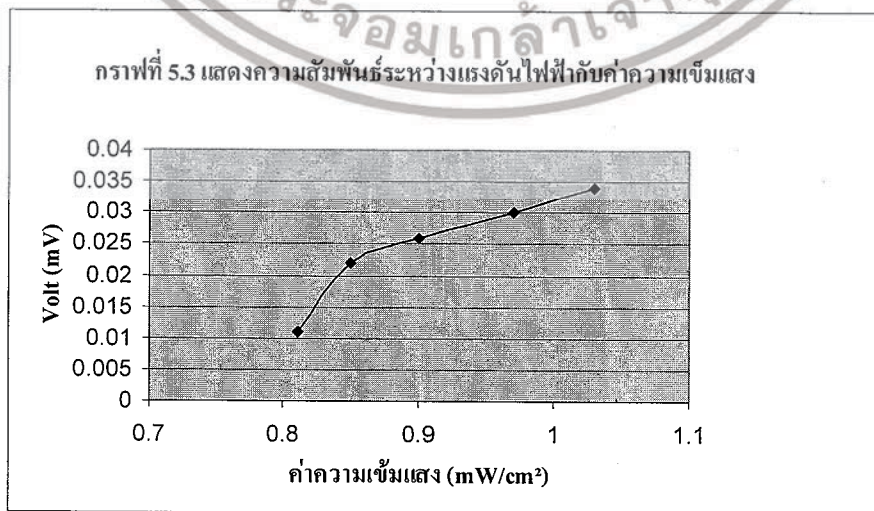
ตารางที่ 5.3 ความเข้มแสงของเครื่องโฟร์โตลิโทกราฟฟีในแต่ละstep โดยการวัดกับอุปกรณ์วัดแสงมาตรฐาน

step	1	2	3	4	5
ความเข้มแสง (mW/cm ²)	0.81	0.85	0.9	0.97	1.03

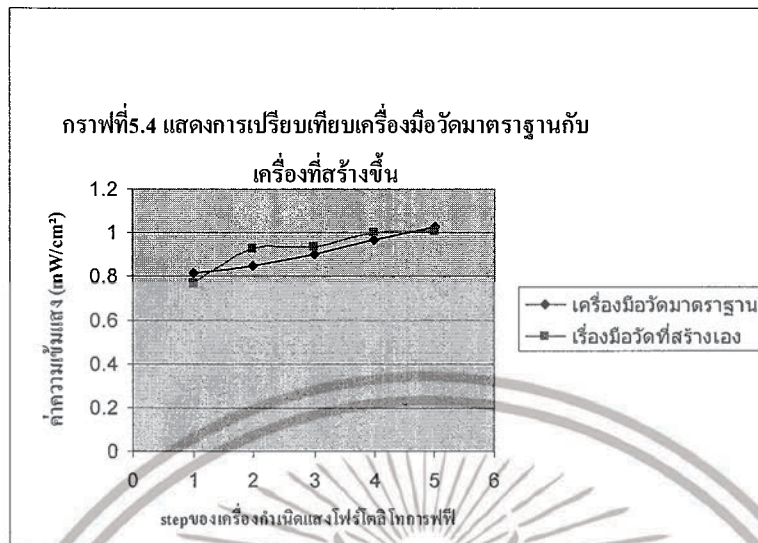
5.4.3 การวัดเทียบค่าแรงดันกับค่าความเข้มแสง โดยการวัดกับเครื่องมือวัดมาตรฐานเพื่อหาค่าความชันออกมาจากจะได้ $Y=0.095X-0.063$

ตารางที่ 5.4 การวัดเทียบค่าแรงดันกับค่าความเข้มแสงของเครื่องมือที่ออกแบบ

ค่าความเข้มแสง (mw/cm ²)	0.81	0.85	0.9	0.97	1.03
ค่าความเข้มแสง (mV)	0.011	0.022	0.026	0.03	0.034



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดมาตรฐานกับเครื่องมือวัดที่
ออกแบบ

step	ค่ามาตรฐาน (mW/cm ²)	ค่าที่ทดลอง (mW/cm ²)	ค่าที่ผิดพลาด %
1	0.81	0.767	4.07
2	0.85	0.924	8.7
3	0.9	0.934	3.77
4	0.97	0.998	2.88
5	1.03	1.007	2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

รายงานเล่มนี้แสดงผลการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำฟิล์มเพชรมาประยุกต์สร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสงอัลตราไวโอเล็ต โดยทำการศึกษาถึงพฤติกรรมทางแสงของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการ CVD แบบลดความร้อนที่ความดันต่ำโดยเลือกใช้โครงสร้างแบบชอตต์กีไดโอดสร้างบนฟิล์มเพชรด้วยเหตุผลที่ว่ามีการบวนการสร้างที่ไม่ซับซ้อนมากนักและโครงสร้างแบบไดโอดจะมีความไวในการทำงานนอกจากนี้ชอตต์กีโฟโตไดโอดที่สร้าง นอกจากนี้ชอตต์กีโฟโตไดโอดที่สร้างเราจะออกแบบให้ทำงานในแนวตั้งแทนที่จะทำงานในแนวราบ(planar) โดยพิจารณาโครงสร้างของฟิล์มเพชรที่เป็นแบบ โพลีคริสตัลไลน์ซึ่งออกแบบให้ทิศทางการเดินทางของประจุพาหะเป็นไปในแนวเดียวกับเส้นพรมแดนผลึกก็น่าจะช่วยลดอิทธิพลของเส้นพรมแดนผลึกได้

โดยจากการทดสอบในการสร้างออกไซด์บนแผ่นซิลิกอนจะสร้างแบบ DRY ก่อน และจะสร้างแบบ WET ที่หลัง เพราะในช่วงแรกต้องการให้เกิดซ้ำ ๆ และต้องการผิที่เรียบ กว่าแบบ WET ซึ่งและในขบวนการสร้างฟิล์มเพชรจะต้องทำการขัดก่อนเพื่อให้จุดที่เป็นรอยขีดเกิดเพชรได้ดี ซึ่งฟิล์มเพชรที่ออกมาข้างออกมาสมบูรณ์ แต่ลักษณะของแผ่นซิลิกอนที่เสร็จแล้ว จะมีรอยที่ขอบออกเกิดจากการกัด

จากการทดลองคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชอตต์กีโฟโตไดโอดที่มีพื้นที่รับแสงที่ถี่ จะสามารถตอบสนองได้ดีกว่าพื้นที่รับแสงที่อยู่ห่างกัน คือจะมีการทำงานที่เร็วกว่า และในการทดลองวัดแสงควรให้เซนเซอร์อยู่ในอุณหภูมิห้องให้ได้มากที่สุดเพราะค่าที่วัดออกมาจะเกิดการผิดพลาดเนื่องจากความร้อนได้

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดทางแสงอัลตราไวโอเล็ต จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (16F876)เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยจากการทดลอง จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าของแสงโดยจะแสดงผลออกทางจอ LCD โดยความสามารถของเครื่องมือวัดจะสามารถวัดค่าความเข้มของแสงอยู่ในช่วง 0.5 mW/cm^2 ถึง 10 mW/cm^2 โดยค่าผิดพลาดของเครื่องมือวัด $\pm 5\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert C. Weast **CRC Hand of Chemistry and Physics**. 64th ed : CRC Press,Inc. 1983. pp. E76-77.
- [2] Annika Nilsson. **Ultraviolet Reflections Life Under A Thining Ozone Layer** : John Wiley & Sons Ltd. 1996. pp. 14-15
- [3] คูสิต เครื่องาม. **สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เล่มที่ 1**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- [4] นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง “การศึกษาคุณสมบัติลูมิเนสเซนซ์ของชั้นพอร์ซซิลิคอน” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544. หน้า 61-67
- [5] เอกราช รัตนอุดมพิสุทธิ์ , สมศักดิ์ เขียวศิริกุล และ สมเกียรติ สุขเดช “ การสังเคราะห์ฟิล์มบางเพชรบน Si ด้วยวิธี CVD แบบลวดความร้อนโดยใช้ C_2H_5OH ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20 2540, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 425-500
- [6] ลัดไทย ไทโยธิน , เอกราช รัตนอุดมพิสุทธิ์ , เดิมพงษ์ เพ็ชรกุล , สมศักดิ์ เขียวศิริกุล และ สมเกียรติ สุขเดช “ อุปกรณ์ตรวจวัดแสงอัลตราไวโอเล็ตด้วยฟิล์มเพชร ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23 พฤศจิกายน 2543 , มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 753-756
- [7] ศรีเมฆ รัตนชัย “เทคนิคการกัดคานเดี่ยวซิลิคอนเพื่อเป็นตัวตรวจจับอัตราเร่ง ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542 หน้า 39-97
- [8] R.F. Davis. **Diamond films and Coatings** . New Jersey : Noyes publications , 1993
- [9] K.E. Spear , J.P. Dismakes. **Synthetic Diamond :emerging CVD Science and Technology**. New York : John wiley&Sons,Inc. 1994
- [10] S.M. Sze. **Semiconductor Devices : Physics and Technology** . New York : John wiley & Sons,Inc 1986. pp. 364-391
- [11] Mitsuo Fukuda. **Optical Semiconductor Devices**. Kanagawa : NTT . 1992.
- [12] Wydawnictwa Naukowe-Techniczne. **Semiconductor Photoelectric Devices**. Great Britain Iliffe Books Ltd. 1968. pp 65-71
- [13] John P.Bentley. **Principle of Measurement Systems** . : Teesside Polytechnic. 1995. pp.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การทำความสะอาดผิวผลึกซิลิกอนเริ่มต้น (initial cleaning) มีขั้นตอนดังนี้

1. ผสมสารเคมี Hydrogen Peroxide 30% กับ Sulfluric Acid อัตราส่วน 3:1 ตั้งอุณหภูมิ 120°
2. ใส่แผ่นซิลิกอน ค้างนาน 5 นาที
3. ล้างน้ำ DI 2 ครั้ง
4. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
5. จุ่มลงในกรดกัดแก้ว (HF) 5% เป็นเวลา 15 นาที
6. ล้างน้ำ DI 2 ครั้ง
7. เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

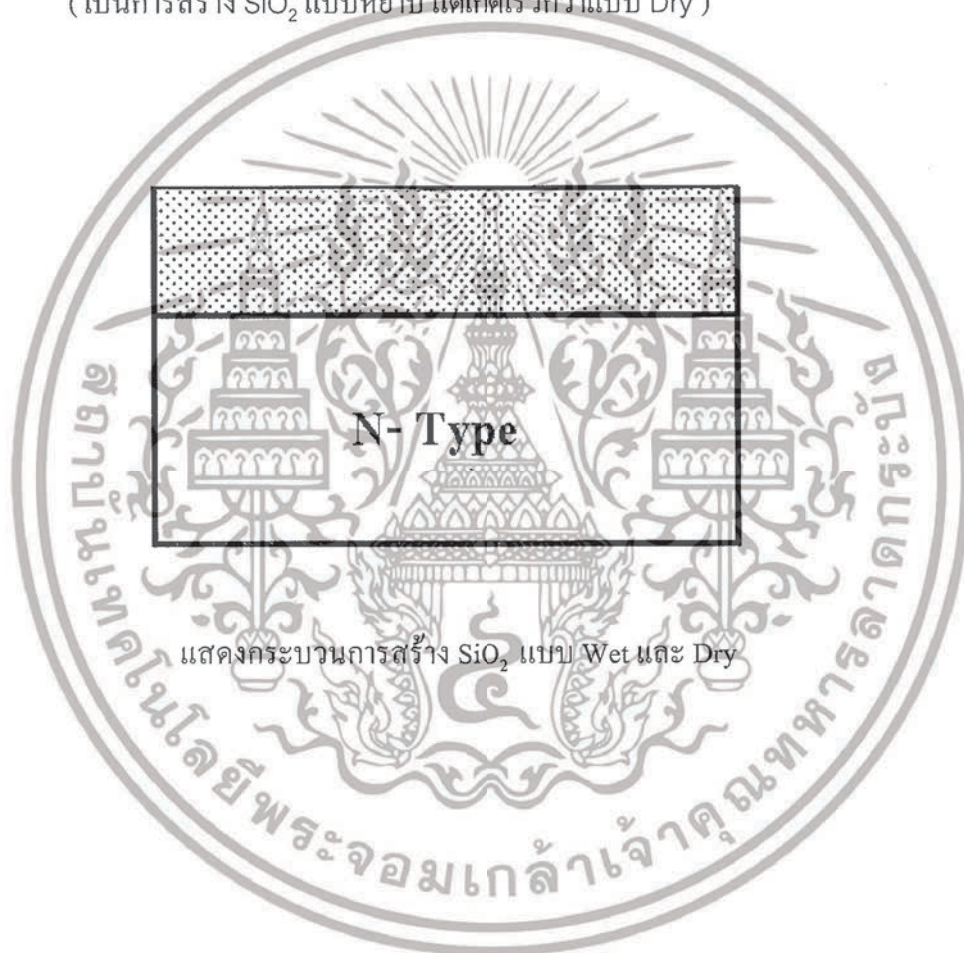


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กระบวนการออกซิเดชัน (การสร้าง SiO_2 ใหน่า 15000 \AA)

- Dry Oxidation ด้วย O_2 1200 cc/min 5 ชั่วโมง
(เป็นการสร้าง SiO_2 แบบละเอียดและกระบวนการที่เกิดขึ้นช้า)
- Wet Oxidation ด้วย O_2 1000cc/min 20 ชั่วโมง
(เป็นการสร้าง SiO_2 แบบหยาบ แต่เกิดเร็วกว่าแบบ Dry)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

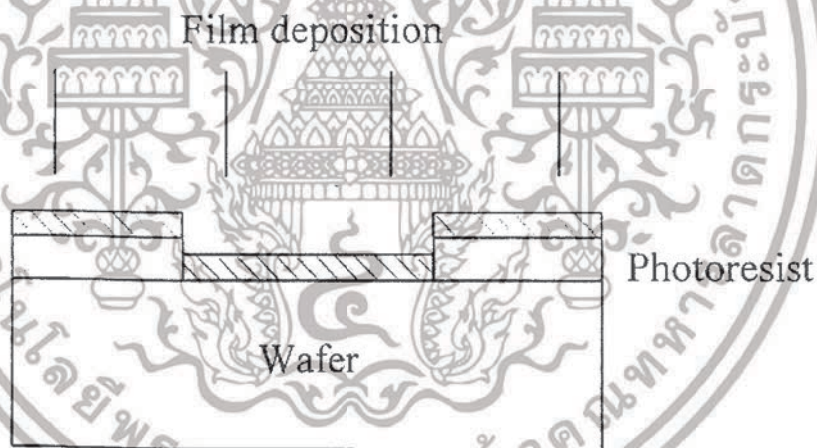
ภาคผนวก ก

กระบวนการลิฟทออฟ มีขั้นตอนดังนี้

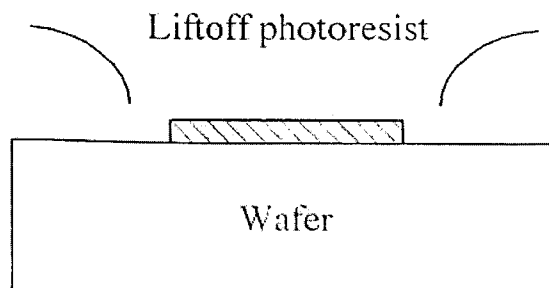
1. เปิดมาสก์ลวดลายตามต้องการ โดยใช้น้ำยาไวแสง (photoresist) เป็นตัวป้องกัน



2. ทำการสร้างชั้นฟิล์มบางที่ต้องการ ซึ่งทำได้หลายวิธีเช่น การเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ การสปัตเตอร์ริง เป็นต้น



3. ลอกชั้นน้ำยาไวแสงออกโดยใช้สารละลายอะซิโตนซึ่งจะทำให้ฟิล์มบางในส่วนที่อยู่บนน้ำยาไวแสงลอกหลุดออกไปด้วย จะเหลือแต่ฟิล์มบางเป็นลวดลายตามที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี

- อบแผ่นผลึกในเตาอบเพื่อไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 120 °c ประมาณ 30 ชั่วโมง
- เคลือบน้ำยาไวแสงด้วยเครื่อง Spinner 5000 rpm สำหรับ way coat
- Peabrake ด้วยการอบในเตาอบที่ อุณหภูมิ 100 °c ประมาณ 30 นาที
- นำแผ่นทำการ Mask Alignment และฉายแสงประมาณ 7 วินาที
- Development โดย จุ่มใน Xylene I และ II อย่างละ 1 นาที
Isoprophyl alcohol I และ II อย่างละ 30 วินาที ล้างด้วยน้ำ DI
- เป่าให้แห้งด้วยแก๊ส N₂
- Postbake ในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °c ประมาณ 20 นาที แล้วนำออกมาเคลือบสารไวแสงข้างหลังเพื่อป้องกันการกัดด้วย AZ แล้วอบต่ออีก 10 นาที

การใช้สารละลายสกัดชั้นออกไซด์ (Oxide Etching)

- จุ่มในสารละลาย Buffer 5 นาที (สารจาสกัดชั้น ออกไซด์ นาทีละ 1000 Å^๒)
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย N₂

กระบวนการลอกฟิล์ม (ลอกฟิล์มที่โดนแสงออกไป)

- ดมใน H₂SO₄ (กรดซัลฟูริก) 2 แก้วๆ ละ 5 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 10 นาที 2-3 ครั้ง
- ดมในน้ำ DI 30 นาที 1-2 ครั้ง
- ล้างน้ำ DI 10 นาที 2-3 ครั้งแล้วเป่าแห้งด้วย N₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้