สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การศึกษาและการวิเคราะห์ ALIN ไดโอด

# Study and Analysis ALIN DIODE

T042727

โดย

นาย ฐิติรัฐ ผลภาษี เลขที่ประจำตัว 41013210

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42727
วัน, เดือน, ปี 7 ส.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b41212743

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและการวิเคราะห์ ALIN ไดโอด

ผู้จัดทำ

นาย ฐิติรัฐ ผลภาษี เลขที่ประจำตัว 41013210

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ. ดร. สมเกียรติ ศุภเดช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาและวิเคราะห์ ALIN ไดโอด


นักศึกษา นาย ฐิติรัฐ ผลภาษี

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช


พ.ศ. 2543


## บทคัดย่อ

ได้มีการศึกษาและรายงาน ถึงการเกิดคุณสมบัติความต้านทานเชิงลบแบบควบคุมด้วยกระแสหรือ Current Controlled Negative Resistance (CCNR) ในซิลิกอนไดโอดแบบ $P^+ - I - N^+$ มาแล้ว ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับซิลิกอนคอนโทรลเรคติไฟร์หรือที่เรียกว่า SCR ในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงการศึกษากลไกลการเกิดคุณสมบัติความต้านทานเชิงลบแบบควบคุมด้วยกระแสหรือ CCNR ที่เกิดขึ้นในไดโอดที่มีโครงสร้าง $N^+ - I - Al$ contact ซึ่งพบว่าสามารถแสดงการเกิด CCNR ได้เช่นเดียวกับไดโอดแบบ $P^+ - I - N^+$ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการแสดงคุณสมบัติ CCNR ใน $N^+ - I - Al$ contact เช่น ผลของระยะ I, ขนาดของพื้นที่ส่วน AL และส่วน N ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยและวิเคราะห์คุณสมบัติของไดโอดชนิดนี้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study and Analysis ALIN DIODE


| | |
|---|---|
| Student | Mr. Thitirat Polpasee |
| Thesis Advisor | Assoc. Prof. Dr. Somkiat Supadech |
| Year | 2000 |


## ABSTRACT


In the past, there was a studying of Current Control Negative Resistance (CCNR) in Silicon PIN Diode. That similar to Silicon-Controlled-Rectifer (referred to as SCR). This report deals with the study of the occurrence of current controlled negative resistance (CCNR) characteristics in $N^+$ - I - Al contact structure that similar to $P^+$ - I - $N^+$ Silicon diodes. This report also describes the study of optimum condition for the occurrence of CCRN characteristics in $N^+$ - I - Al contact structure. For example the length of I region, Area of contact-AL and N-region, all of these are useful for the developing of new device that has occurrence of CCNR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี | 3 |
| 2.1 รอยต่อพีเอ็น | 3 |
| 2.1.1 รอยต่อพีเอ็นในภาวะสมดุล ขณะไม่มีแรงดันไบอัส | 3 |
| 2.1.2 รอยต่อพี-เอ็น ขณะได้รับแรงดันไบอัสตรง | 5 |
| 2.1.3 รอยต่อพี-เอ็น ขณะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ | 6 |
| 2.1.4 กระแสรั่ว ที่รอยต่อพี-เอ็น | 6 |
| 2.1.5 ปรากฏการณ์พังทลายที่รอยต่อ พี-เอ็น | 7 |
| 2.2 คุณสมบัติของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ | 9 |
| 2.2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำและซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ | 9 |
| 2.2.2 ค่าสภาพต้านทานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ | 15 |
| 2.2.3 ความต้านทานเชิงลบ | 17 |
| 2.3 วิธีแอลลอย | 24 |
| บทที่ 3 การออกแบบ | 25 |
| บทที่ 4 กระบวนการสร้าง | 65 |
| 4.1 กระบวนการสร้างกระจกต้นแบบ | 65 |
| 4.2 กระบวนการออกซิเดชั่น | 70 |
| 4.3 กระบวนการโฟโตลิโทรกราฟฟี่ | 77 |
| 4.4 การแพร่การเจือ | 78 |
| 4.4.1 Pre-deposition | 78 |
| 4.4.2 Drive-in | 78 |
| 4.5 การแพร่ของอะตอมทองบริสุทธิ์เพื่อสร้างส่วน I | 79 |
| 4.6 ขบวนการสร้างขั้วโลหะ | 79 |
| 4.7 ขั้นตอนการสร้าง N-I-Al | 81 |
| บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง | 87 |
| 5.1การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของ I – V curve ต่อ ระยะ I ของ ALIN | 88 |
| 5.1.1 ผลของการเปลี่ยนค่าระยะ I | 88 |
| 5.1.2 ผลของการเปลี่ยนค่าระยะ I ต่อกระแส $I_S$ , $I_H$ และ $V_S$ , $V_H$ | 91 |
| 5.2 การศึกษาผลของขนาดของส่วน Al และส่วน N โดยการลดขนาดลงเท่าๆ กัน | 93 |
| 5.3 ศึกษาผลของพื้นที่ทางเดินกระแส I | 96 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ศึกษาผลของแสง ซึ่งมีผลกับ $I_S$, $I_H$, $V_S$, $V_H$ 98
5.5 เพื่อศึกษาผลของกระแสรั่ว $I_O$ 101
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ 103
กิตติกรรมประกาศ 104
เอกสารอ้างอิง 105
ภาคผนวก 106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

การสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำซึ่งใช้ฐานรองเป็นแผ่นผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นที่ได้รับการเติมอะตอมทองคำนั้นมีอยู่มาก เช่น การสร้างไดโอดโครงสร้างแบบ PIN (P- type Intrinsic N-type Diode) การสร้างทรานซิสเตอร์แบบทำงานด้วยสนามไฟฟ้าโครงสร้างแบบ CMOIS (Complementary Metal Oxide Intrinsic Semiconductor Field Effect Transistor) หรือการปรับปรุงคุณภาพการตอบสนองต่อสัญญาณชั่วครู่ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ โดยการเติมอะตอมสารเจือทองคำเข้าไปที่ส่วนเบสเป็นต้น

อะตอมทองคำที่แพร่เข้าไปในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะเป็นอะตอมของสารเจือที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากขนาดของโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน ดังนั้นการแพร่ของอะตอมจึงเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากกว่าสารเจือที่เข้าแทนที่อะตอมสารกึ่งตัวนำ เมื่ออะตอมทองคำเข้าไปแทรกตัวอยู่ในสารกึ่งนำแล้วจะเกิดระดับพลังงานของอะตอมทองคำในผลึกซิลิกอน 2 ระดับในช่องว่างแถบพลังงานของซิลิกอน คือระดับพลังงานเสมือนผู้ให้ (Donor like level) ที่ระดับพลังงาน 0.35 eV เหนือระดับพลังงานวาเลนซ์ของซิลิกอนและระดับเสมือนผู้รับ (Acceptor like level) ที่ระดับพลังงาน 0.54 ใต้แถบความนำลงมา ระดับพลังงานทั้งสองจะทำหน้าที่จับประจุพาหะอิเล็กตรอน และโฮลที่ถูกฉีดเข้ามาในสารกึ่งตัวนำ (ประสิทธิภาพในการจับประจุอิเล็กตรอนของอะตอมทองคำมีค่าสูงกว่าความสามารถในการจับโฮล) โดยซิลิกอนจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการรวมตัว (Recombination Center) ของประจุพาหะทั้งสอง ดังนั้น ความเข้มข้นของประจุทั้งสองที่ใช้ในการนำกระแสของสารกึ่งตัวนำจึงมีแนวโน้มลดลงทำให้ค่าสภาพต้านทานของสารกึ่งตัวนำมีค่าเพิ่มขึ้นและในกรณีที่เติมสารเจือทองคำในสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฐานแผ่นรองมีลักษณะใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ กล่าวคือปริมาณของประจุพาหะทั้งอิเล็กตรอนและโฮลมีค่าใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆซึ่งมีผลต่อ PIN และมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนโครงสร้างในส่วนของ P ที่ได้จากการแพร่อะตอมสารเจือชนิด พี มาเป็นเทคนิคแบบอัลลอย โดยใช้ Al-Si alloy และการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ส่วนใหญ่มีรากฐานมาจากสมการไดโอด ดังสมการ 1.1 ซึ่งถือว่ามีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกัน และสมการของ Parmenter & Ruppil ดังสมการที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = Aq[\frac{D_p p_{no}}{L_p} + \frac{D_e n_{po}}{L_e}] \qquad 1.1$$
$$I = I_o[\exp(\frac{qV_A}{kT}) - 1]$$

จากทฤษฎีของ RH. Parmenter and W. Ruppil : J Apply. Phys. 30 (1959),1548

$$J = 2\varepsilon\varepsilon_0 \frac{[\mu_n\mu_p(\mu_n + \mu_p)]^{\frac{1}{2}}}{\mu_0} \frac{V_a^2}{L^3}$$
$$J \propto K_1 \frac{V_1^2}{L^3} \qquad 1.2$$
$$\mu_0 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\sigma_B V_{th}}{2q}$$

พบว่ามีค่าพารามิเตอร์มากมาย เกิดขึ้นที่ มากมายซึ่งหากสามารถศึกษาผลต่างๆ ได้ดี ก็จะนำไปซึ่งการสร้างอุปกรณ์ PIN ที่สมบูรณ์แบบที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# ทฤษฎีประกอบการสร้าง

## 2.1 ทฤษฎีรอยต่อพีเอ็น

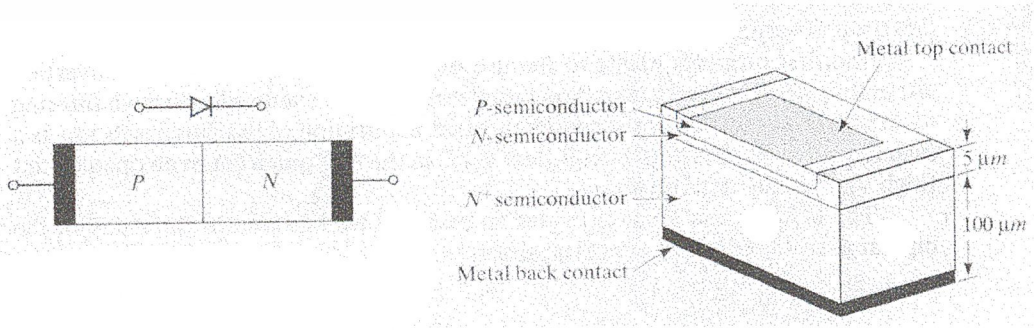
### 2.1.1 รอยต่อพีเอ็นในภาวะสมดุล ขณะไม่มีแรงดันไบอัส

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P- type และ N- type มาต่อเป็นชิ้นเดียวกัน ซึ่งอาจถูกสร้างขึ้นได้โดยการเติมสารเจือโบรอนลงไปในฐานรองชนิดเอ็นหรือการเติมสารเจือฟอสฟอรัสลงในฐานรองชนิดพีและจะพบว่าเมื่อเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นพาหะของด้านทั้งสองของรอยต่อมีความแตกต่างกันจึงมีการแพร่ข้ามรอยต่อของประจุพาหะ อิเลคตรอนทางด้านเอ็นจะแพร่ข้ามไปทางด้านพีและโฮลทางด้านพีก็แพร่ข้ามไปยังด้านเอ็นส่งผลทำให้อะตอมสารเจือผู้ให้ทางด้านเอ็นที่บริเวณรอยต่อมีสภาพเป็นอิออนบวกและอะตอมสารเจือผู้รับทางด้านพีมีสภาพเป็นอิออนลบประจุไฟฟ้าของอิออนดังกล่าวทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในที่จะต่อต้านการแพร่ของประจุพาหะส่วนมากในการข้ามรอยต่อดังกล่าวจนในที่สุดการแพร่ข้ามรอยต่อดำเนินถึงภาวะสมดุลย์นั่นคือ (กระแสแพร่ = กระแสดริฟท์ ) โดยสนามไฟฟ้า บริเวณปลอดพาหะทำให้เกิดแรงดันภายใน

$$V_B = \frac{KT}{q}\ln\left(\frac{N_D N_A}{n_i^2}\right) \qquad 2.1$$

$n_i^2$ : ความหนาแน่นของประจุพาหะของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

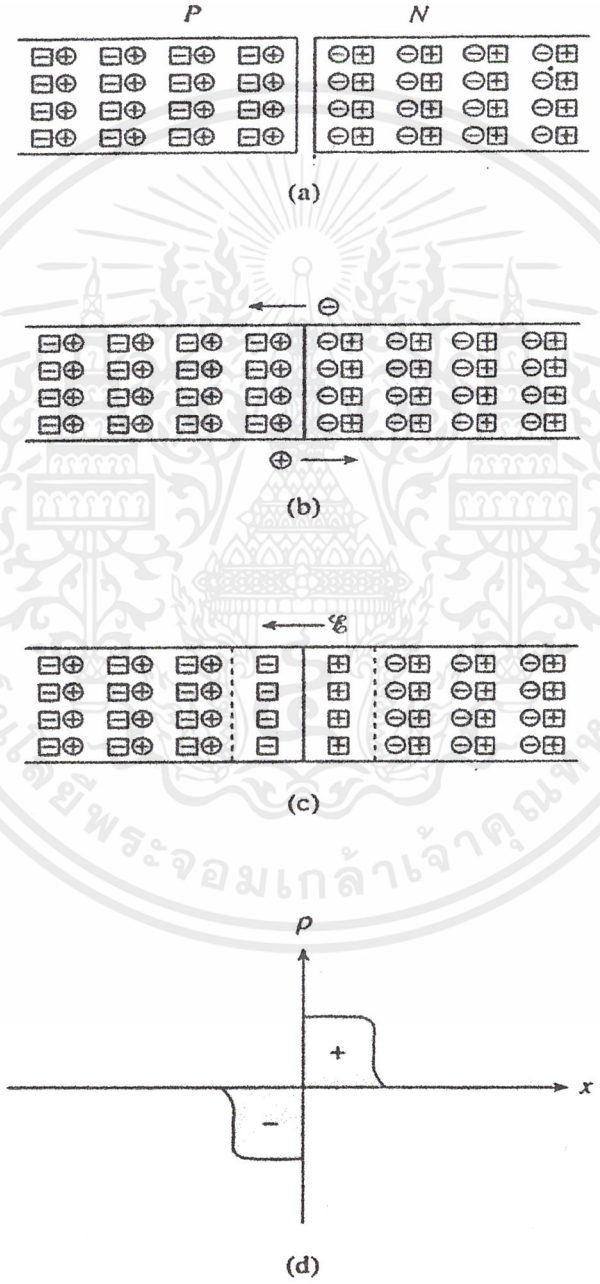
$\frac{KT}{q}$ : มีค่าเท่ากับ 0.026 V ที่ 300 K




รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของ ไดโอดทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนลักษณะของ Energy band diagram ของรอยต่อพีเอ็นขณะอยู่ในภาวะสมดุลย์ เราต้องพิจารณาถึงระดับเฟอร์มิ เป็นหลักสำคัญในภาวะสมดุลย์ ระดับเฟอร์มิของทั้งสองรอยต่อจะต้องต่อเนื่องเป็นระดับเดียวกันตลอดผ่านรอยต่อพีเอ็น

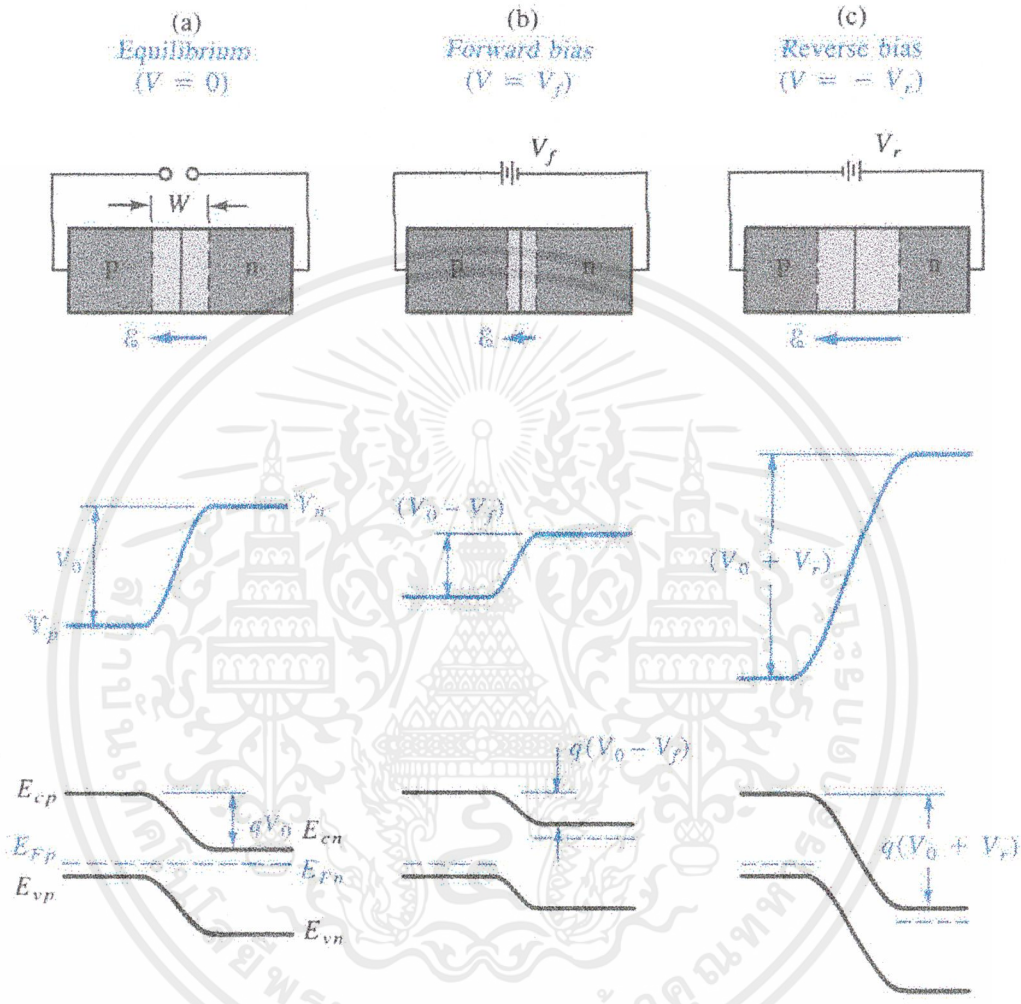



รูปที่ 2.2 แสดงรอยสัมผัสสารชนิดพีและชนิดเอ็นด้วยแถบพลังงาน

(a) ก่อนสัมผัส (b) ขณะสัมผัส (c) ภาวะสมดุลย์หลังสัมผัส (d) แสดงความหนาแน่นที่รอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ไบอัสที่รอยต่อพี-เอ็น แบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้




รูปที่ 2.3 แสดงระดับพลังงานที่เปลี่ยนแปลงของรอยต่อที่สภาวะต่างๆ

**2.1.2 รอยต่อพี-เอ็น ขณะได้รับแรงดันไบอัสตรง**

การให้แรงดันไบอัสตรง $V_A$ จะเป็นการทำลายภาวะสมดุลย์ของรอยต่อพี-เอ็นในหัวข้อที่แล้ว โดยระดับระดับเฟอร์มิของด้านทั้งสองของรอยต่อแตกต่างกันเท่ากับ $qV_A$ ทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านรอยต่อนี้ได้เนื่องจากการแพร่ของประจุพาหะส่วนมากจากทั้งสองด้านไปยังด้านตรงข้ามโฮลถูกฉีดจากด้านพีเข้าไปในด้านเอ็น และอิเลคตรอนส่วนเอ็นถูกฉีดเข้าไปในด้านพี ทั้งอิเลคตรอนและโฮลที่ถูกฉีดเข้าไปยังด้านตรงข้ามก็จะกลายเป็นพาหะส่วนน้อยดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = Aq[\frac{D_p p_{no}}{L_p} + \frac{D_e n_{po}}{L_e}] \qquad 2.2$$

$$I = I_o[\exp(\frac{qV_A}{kT}) - 1]$$

A : พื้นที่ของรอยต่อพีเอ็น

$D_p$ : สัมประสิทธิ์การแพร่ของโฮล

$D_e$ : สัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเลคตรอน

$I_o$ : กระแสอิ่มตัว

**2.1.3 รอยต่อพี-เอ็น ขณะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ**

หากเราให้แรงดันไบอัสย้อนกลับ แก่รอยต่อมีค่า $V_A$ แล้วจะเห็นว่าแรงดันไบอัสย้อนกลับจากภายนอกจะไปเพิ่มแรงดันภายในรอยต่อให้มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมเป็น $V_A + V_B$ ทำให้พาหะส่วนใหญ่ไม่สามารถแพร่ข้ามรอยต่อได้เช่นเดียวกับภาวะสมดุลย์แต่พาหะส่วนน้อยสามารถที่จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อได้ด้วยสนามไฟฟ้าที่มีทิศจากเอ็นไปพีดังรูปที่การเคลื่อนที่ของประจุพาหะส่วนน้อยข้ามรอยต่อนี้เองทำให้ปริมาณความหนาแน่นของประจุพาหะส่วนน้อยใกล้ๆบริเวณปลอดพาหะมีจำนวนลดน้อยลงดังรูปที่ 2.3

จากสมการข้างต้นหากเราแทนค่าแรงดันไบอัสย้อนกลับ $-V_A$ แล้วจะพบว่าเทอมของ $\exp(\frac{-qV_A}{kT})$ จะมีค่าน้อยกว่า 1 มากเราจึงประมาณค่าสมการได้เป็น $I \approx -I_o$ ซึ่งเป็นกระแสที่มีทิศตรงข้ามกับกระแสในกรณีไบอัสตรง

**2.1.4 กระแสรั่วที่รอยต่อ พี-เอ็น**

ต่อเนื่องจากหัวข้อที่แล้วจะพบว่า กระแสรั่วคือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ $I_o$ ขณะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับนั่นเอง

$$I = I_o[\exp(\frac{qV_A}{kT}) - 1] \qquad 2.3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแทนค่าต่างๆโดยทั่วไปของไดโอดลงในสมการที่ 2.3 แล้วจะได้ว่า $I_o = 5 \times 10^{-5} A$ แต่จากการวัดกระแสรั่วที่ได้นั่น พบว่ามีค่าสูงกว่าและขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัสอีกด้วยทั้งๆที่ในสมการ 2.3 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไบอัสเลยแสดงให้เห็นว่ากระแสรั่วที่เกิดขึ้นนั้นต้องประกอบด้วยกระแสชนิดอื่นอีกนอกจากกระแส $I_o$ ซึ่งถูกเรียกว่ากระแสเจลเนอเรชั่น-รีคอมบิเนชั่น ( Generation-Recombination ) หรือที่เรียกกันว่า กระแส G-R

สาเหตุที่เกิดกระแส G-R เนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ซึ่งแยกออกเป็น Mettallic imurities และ Crystalline defects ทั้งสองสาเหตุนี้ทำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของผลึกขึ้นและเกิดระดับพลังงาน deep level ในช่องว่างของแถบพลังงานโดยจะแสดงตัวเป็นที่พักสำหรับอิเลคตรอนหรือโฮล ขณะที่เคลื่อนที่ระหว่างแถบความนำและแถบวาเลนซ์ จึงทำให้เสมือนมีระดับพลังงานเพิ่มขึ้นในช่องว่างแถบพลังงานทำให้เกิดการเกิดพาหะหรือการรวมของพาหะได้

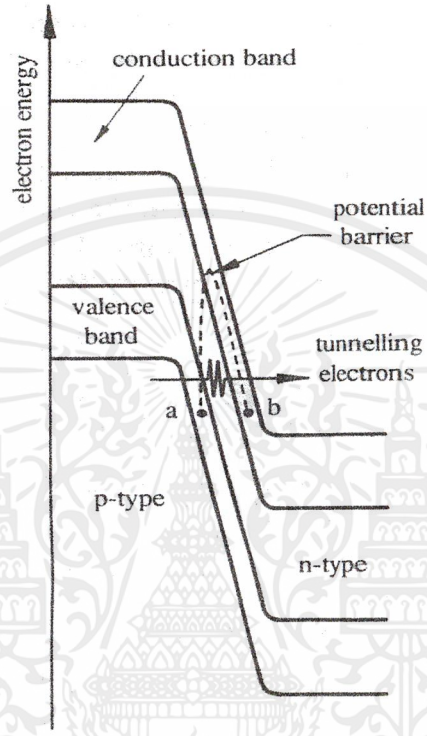
**2.1.5 ปรากฏการณ์พังทลายที่รอยต่อ พี-เอ็น**

ทฤษฎีรอยต่อพี-เอ็นที่แสดงด้วยสมการ2.3 นั้น กระแสที่ไหลผ่านรอยต่อพี-เอ็นขณะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับมีค่าน้อยมากและยังเป็นอิสระไม่ขึ้นกับขนาดของแรงดันไบอัส อย่างไรก็ดีจากผลการทดลองปรากฏว่าแรงดันไบอัสย้อนกลับค่าหนึ่ง กระแสรั่วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่มีค่ามากไม่อาจควบคุมได้ด้วยแรงดันไบอัส ซึ่งเป็นกระแสรั่วที่เกิดจากปรากฏการณ์พังทลาย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

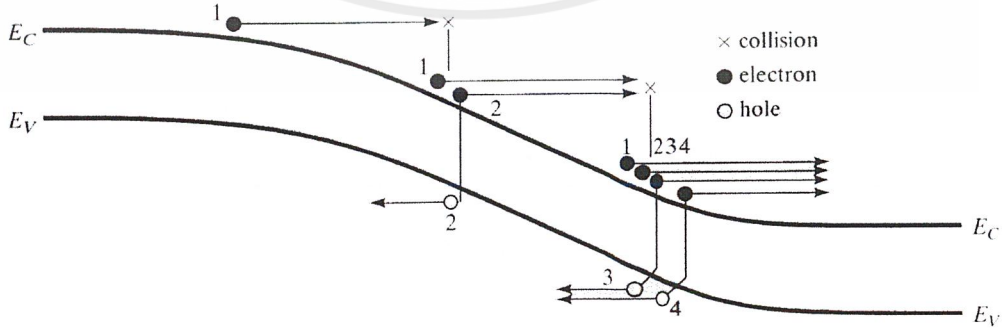
การพังทลายแบบซีเนอร์ ( Zener breakdown ) เกิดขึ้นกับรอยต่อที่มีความหนาแน่นของสารเจือสูงๆการพังทลายแบบนี้จะปรากฏที่แรงดันไบอัสย้อนกลับค่าน้อยๆเนื่องจากบริเวณปลอดพาหะมีระยะแคบมาก ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงมีค่าสูงมาก พันธะโควาเลนซ์ระหว่างอะตอมของซิลิกอนอาจถูกทำลายได้ดังรูปที่ 2.4 ทำให้เกิดอิเลคตรอนและโฮลขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของวาเลนซ์อิเลคตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบความนำ ซึ่งถูกเรียกว่า tunnelling ค่าสนามไฟฟ้าโดยทั่วไปที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ซีเนอร์นั้นจะมีค่าประมาณ $10^6$ v /cm หรือ 100 v / $\mu$

การพังทลายแบบอะวาลานซ์ ( Avalance breakdown ) เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสของประจุพาหะ แต่ละชนิดในบริเวณปลอดพาหะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดการชนกันขึ้นได้เป็นสาเหตุให้เกิดอิเลคตรอนอิสระและโฮลขึ้น ประจุพาหะทั้งสองที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะถูกอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าบริเวณปลอดพาหะทำให้มีความเร่งและชนกับอะตอมอื่นเกิดอิเลคตรอนอิสระและโฮลคู่ใหม่ คล้ายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้เกิดกระแสย้อนกลับเป็นจำนวนมากดังรูปที่ 2.5 และค่าแรงดันพังทลายจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของรอยต่ออีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.4 แสดงการพังทลายแบบซีเนอร์ของรอยต่อพี-เอ็นขณะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ




รูปที่ 2.5 แสดงสภาวะการเกิด การพังทลายแบบอะวาลานซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2 คุณสมบัติของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ**

**2.2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของทองคำและซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ**

ทองคำเป็นธาตุโลหะที่มีวาเลนซ์อิเลคตรอน 1 และ 3 โดยมีอะตอมมิคนัมเบอร์เท่ากับ 79 และมีจุดหลอมเหลว (Melting point) ที่อุณหภูมิ 1063 องศาเซลเซียส

R. Hultgren ได้ ศึกษาและพบว่าจุดเดือดของทองคือ 2808 องศาเซลเซียส (308 องศาเคลวิน) สำหรับความดันของไอ (Vapor pressure ) ของทองที่อุณหภูมิต่างๆ และอัตราการ evaporate แสดงได้ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งรวบรวมโดย Hultgren ความดันไอของทองคำมีค่าใกล้เคียงกับ palladium และมี ค่าน้อยกว่าทองแดงและเงิน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ส่วนความดันไอของทองคำที่จุดเดือด 3081 K แสดงดังในรูปที่ 2 .7 นอกจากนี้แล้ว Raub และ Plate ได้รายงานว่า ทองคำเป็นโลหะเพียงชนิดเดียวที่ไม่ทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงๆ สำหรับ ค่าสภาพต้านทาน (Resistivity)ของทองคำบริสุทธิ์ ตามรายงานของ Linda ที่อุณหภูมิ 0 และ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่า 2.06 และ 2.125 ไมโครโอห์ม .ซม. (Microhm.cm) ตามลำดับส่วนค่าสภาพต้านทานของทองคำที่จุดหลอมเหลวจะมีค่าเป็น 6 เท่าของที่ 20 องศาเซลเซียส คือเท่ากับ 13.68 microhm cm (จากรายงานของ Roll และ Motz )

ทองเป็นสารเจือระดับลึก (deep impurity) ที่สำคัญในซิลิกอน ทั้งนี้เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การแพร่ (diffuseonก coefficient) สูง คือ ประมาณ $2.5 \times 10^{5}$ $cm^2$ /sec ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาณของทองในซิลิกอนได้โดยการควบคุมอุณหภูมิอะตอมทองจะแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอม ( Interstitial ) ของซิลิกอนโดยไม่มีบอนใดๆ ยึดกับอะตอมของซิลิกอน ดังรูปที่ 2.9 อัตราการแพร่ชนิดนี้จะเร็วกว่าอัตราการแพร่แบบเข้าไปแทนที่ ( Substitutional diffusion)

เมื่ออะตอมทองแพร่เข้าไปในซิลิกอนจะไปควบคุมช่วงอายุ ( lifetime ) และสภาพต้านทาน ( Resistivity ) ทั้งชนิด n และ p กล่าวคือ จะทำให้อายุพาหะ ( carrier lifetime ) ของอิเลคตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n มีค่าลดลง เราจึงเรียกทองว่าเป็น (carrier lifetime killer) เช่นสามารถนำมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์พวกความเร็วสูง ( High speed switching devices ) เช่น สวิชชิ่งไดโอด และวงจรรวมดิจิตอลแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

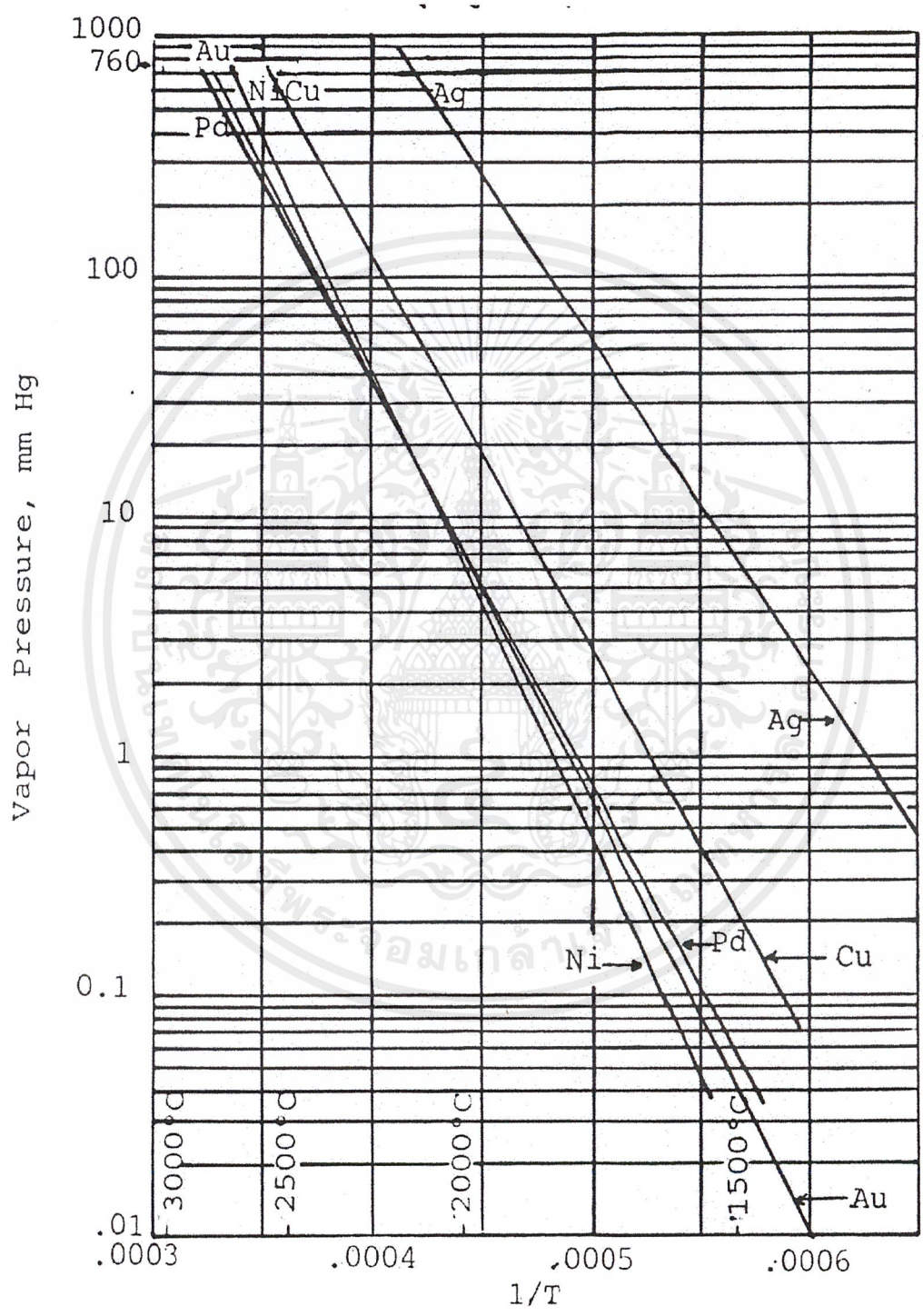
สำหรับ ค่าโซลิตโซลูบิลิตี้ ( Solid solubility) ของทองในซิลิกอนจะมีค่าสูงสุดประมาณ $10^{17}$ อะตอม/ลบ .ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| อุณหภูมิ T, K | Vapor Pressure ( mm Hg ) | Rate of Evaporation ($g\ cm^{-2}\ scs^{-1}$) |
|---|---|---|
| 1300 | 0.0000088 | 2.7 x 10-7 |
| 1336 | 0.000022 | 4.82 x 10-7 |
| 1600 | 0.0036 | 7.3 x 10-5 |
| 1700 | 0.176 | 3.3 x 10-4 |
| 1900 | 0.210 | 4.0 x 10-3 |
| 2300 | 8.81 | 1.5 x 10-1 |
| 2400 | 18.40 | 3.08 x 10-1 |
| 2800 | 204.1 | 3.2 |
| 3081 | 760 | 11.2 |

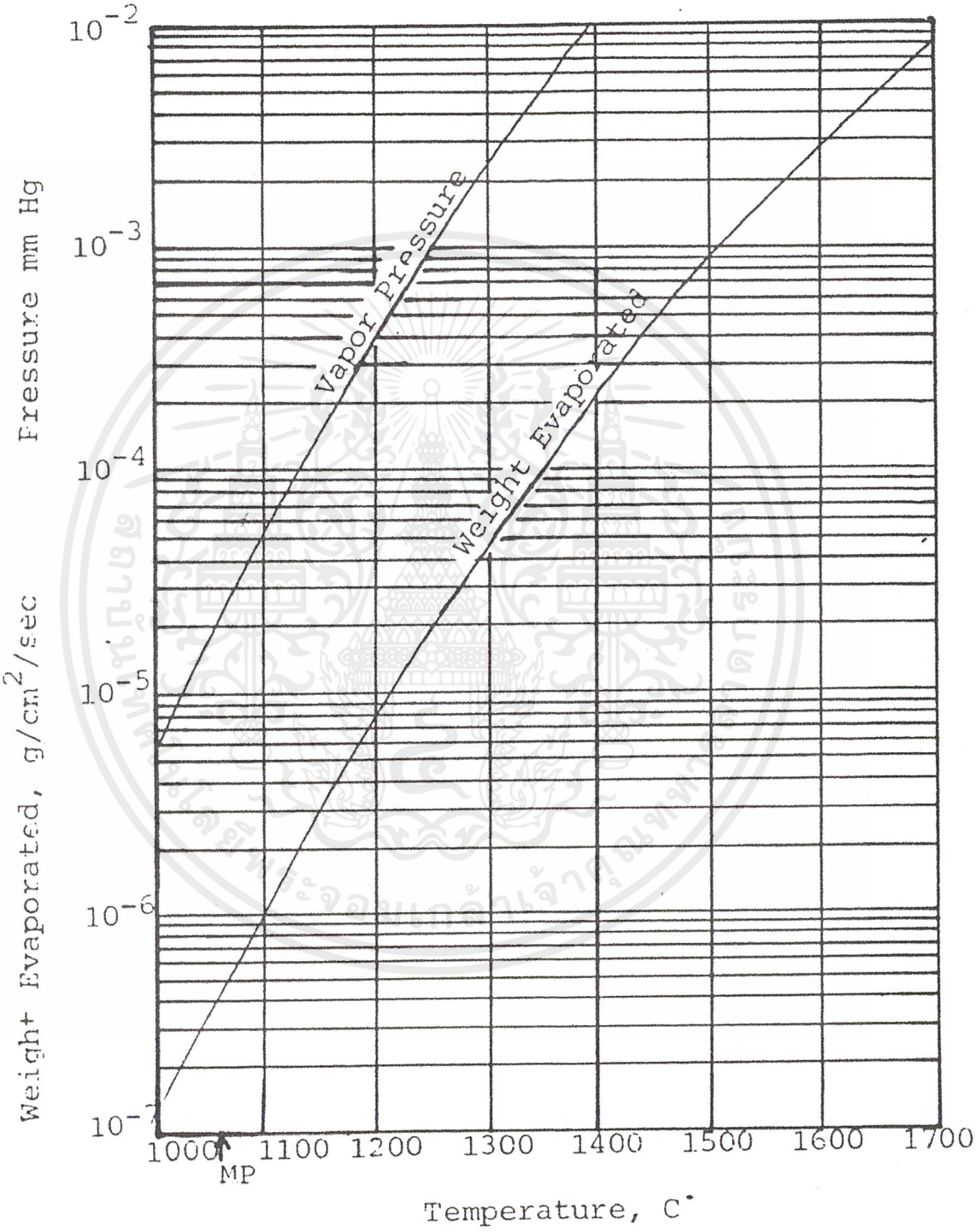
ตารางที่ 2.6 แสดง ค่าความดันไอและอัตราการ evaporate ของทองคำที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



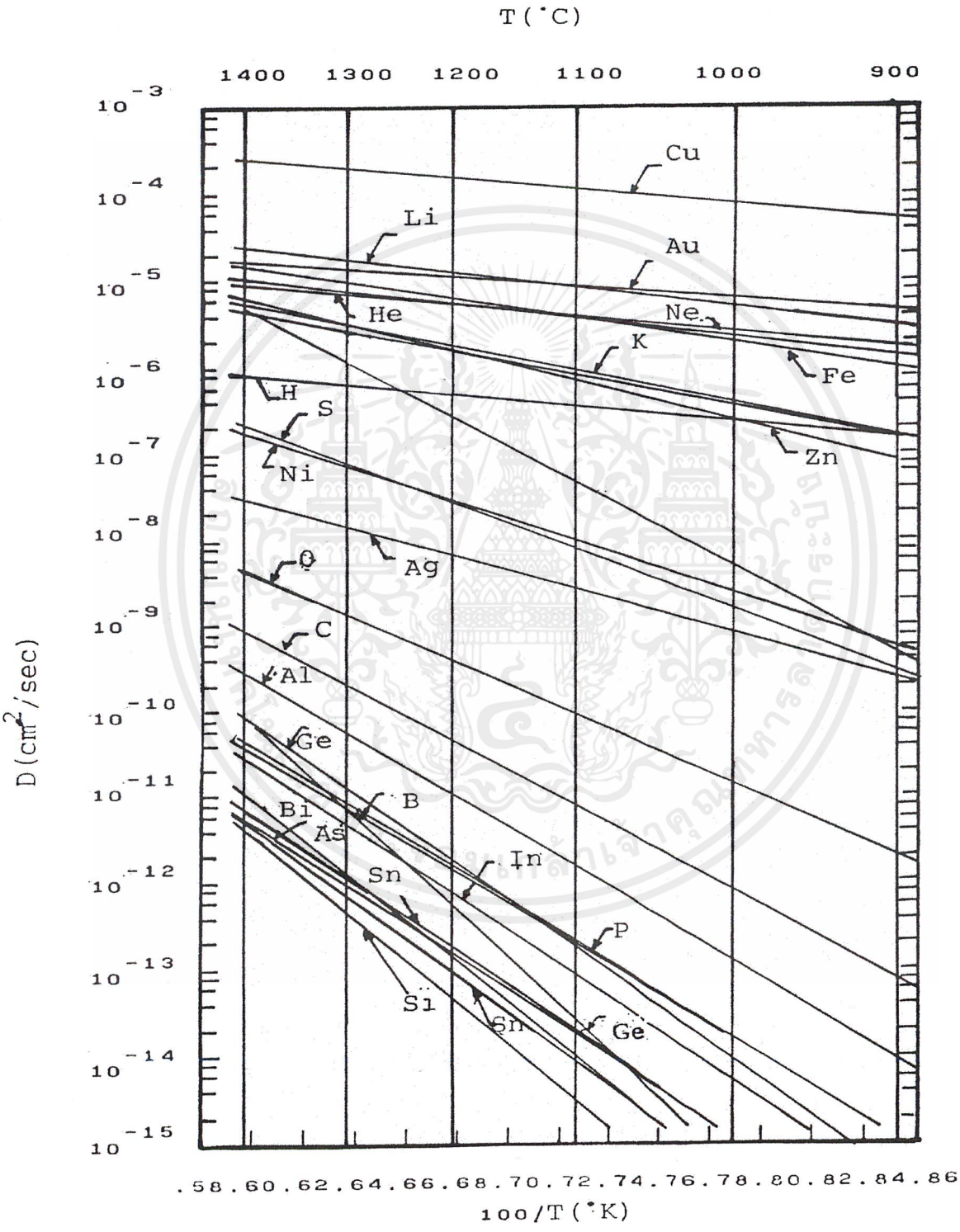

รูปที่ 2.7 แสดงค่าความดันไอของทองคำ palladium copper silver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



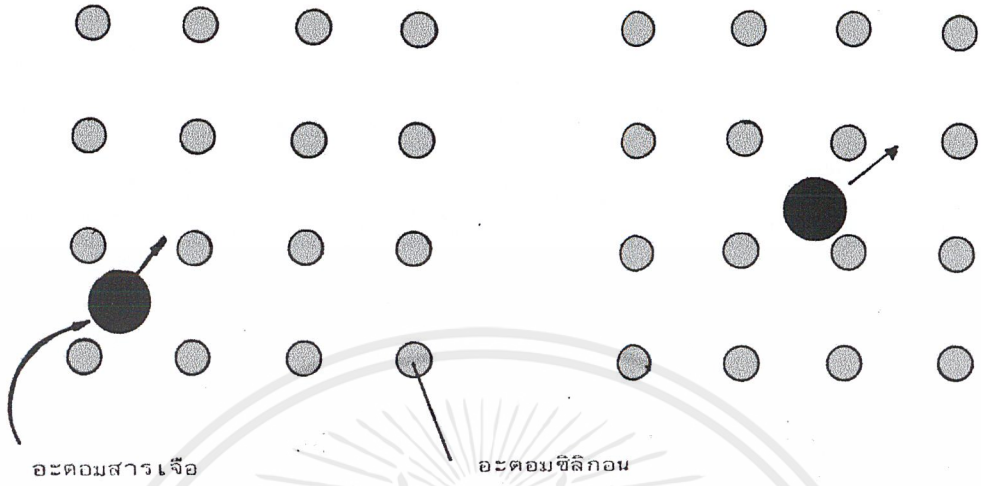

**รูปที่ 2.8 แสดงค่าความดันไอและอัตราการ evaporate**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

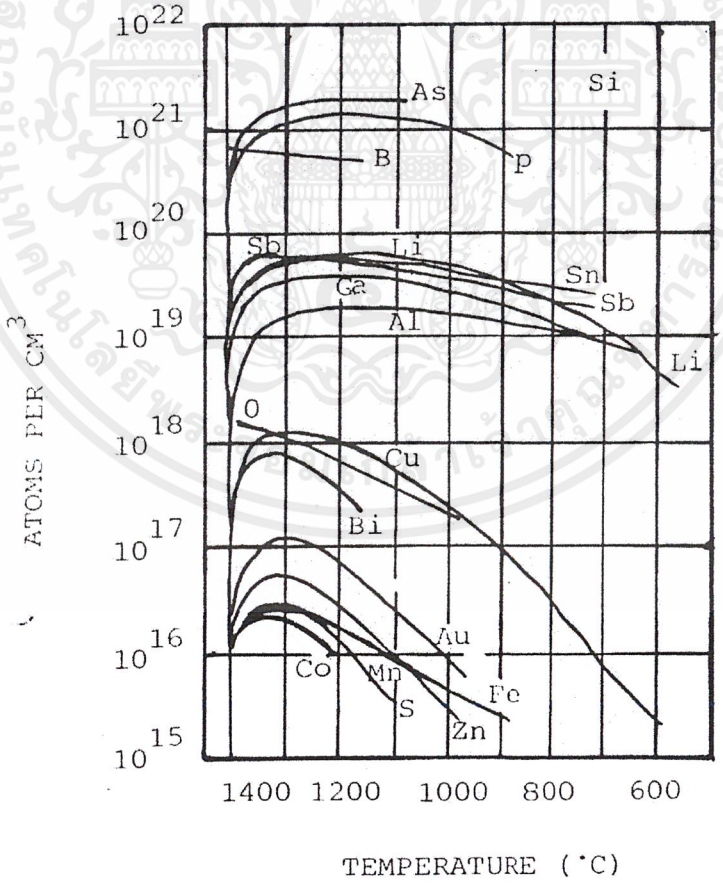



**รูปที่ 2.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองคำในซิลิกอน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

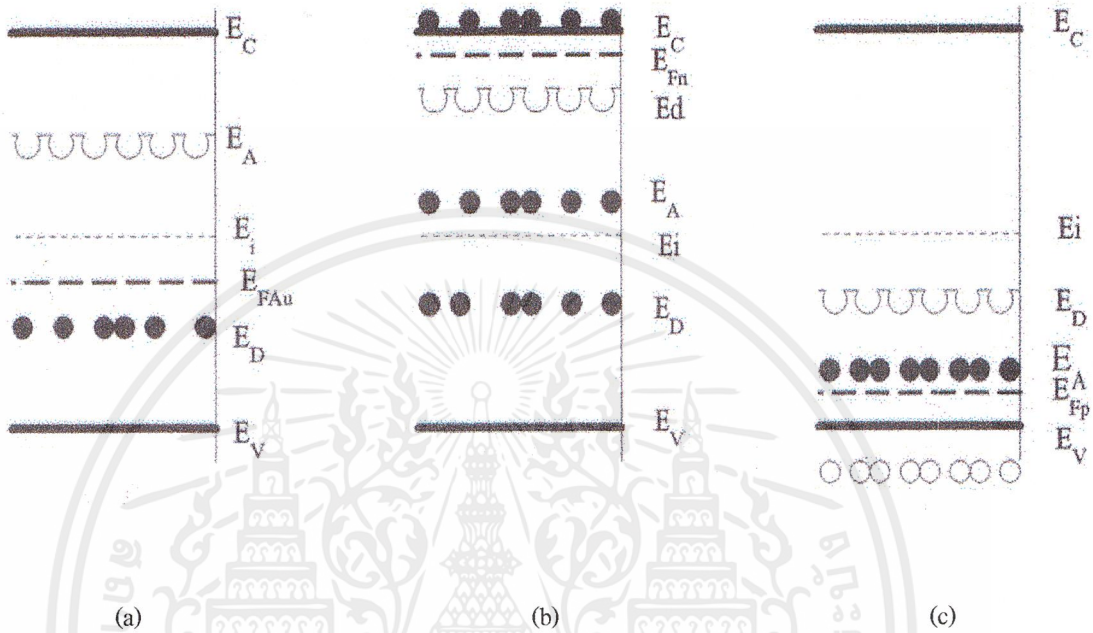



รูปที่ 2.10 แสดงค่าการแพร่ของอะตอมทองเข้าไปอยู่ระหว่างอะตอมซิลิกอน




รูปที่ 2.11 แสดงค่า solid Solubility

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.12 แสดงระดับพลังงานของ ซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ

a. เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดอินทรินซิค

b. เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นโดยที่ $N_D > N_{AU}$

c. เติมลงในสารกึ่งตัวนำชนิดพี $N_A > N_{AU}$

**2.2.2 ค่าสภาพต้านทานของซิลิกอนที่ถูกแพร่ด้วยทองคำ**

สัมประสิทธิ์ของฮอลล์และค่าสภาพต้านทานของซิลิกอนชนิด P ซึ่งถูกแพร่ด้วยทองคำจะเป็นสัดส่วนกลับของอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2 .13

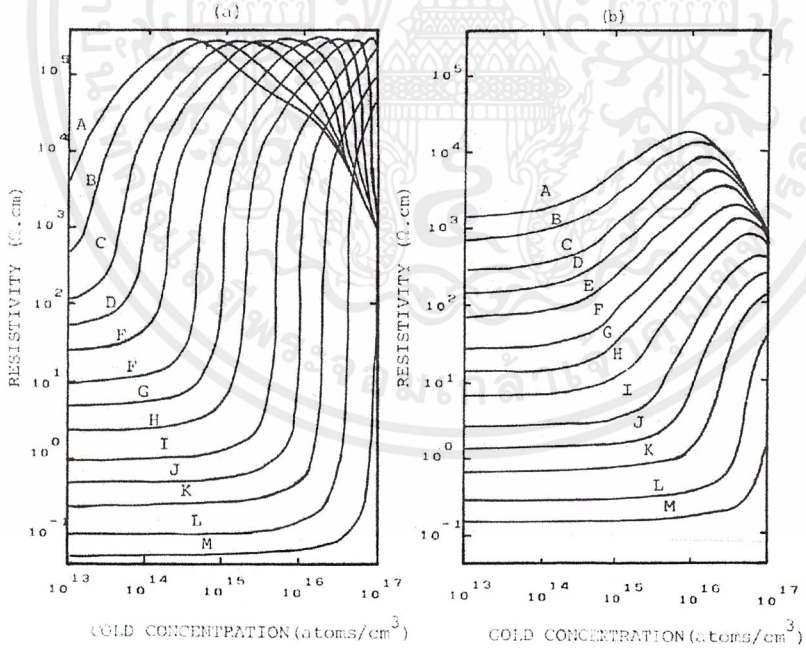
ในซิลิกอนชนิดเอ็นเมื่อถูกแพร่ด้วยทองคำ จะทำให้อิเลคตรอนที่อยู่ในแถบความนำตกลงมาในระดับพลังงาน (Deep acceptor level) ซึ่งอยู่ห่างจากใต้แถบความนำประมาณ 0.54 + 0.02 eV หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คืออิเลคตรอนในแถบความนำจะถูกจับ (trap) ด้วย acceptor level คือเกิดปรากฏการณ์ชดเชย (compensation) ทำให้จำนวนอิเลคตรอนดังกล่าวลดลง ค่าสภาพต้านทานจึงเพิ่มขึ้นและช่วงอายุ (life time) ของพาหะจะลดลง เมื่อปริมาณอะตอมของทองให้มากขึ้น จะทำให้ Deep acceptor level มีจำนวนพอที่จับ อิเลคตรอนอิสระในแถบความนำได้เกือบหมด ค่าสภาพต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทานจะมีค่าสูงขึ้นจะกลายเป็นอินทรินซิค (Iintrinsic type) และยังเพิ่มปริมาณของทองขึ้นอีกจะหาให้ค่าสภาพต้านทานจะลดลง ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติเป็น p – type โดยมีพาหะอิสระส่วนใหญ่เป็นโฮล

สำหรับซิลิกอนพีเมื่อเติมอะตอมของทองลงไป จะเกิดระดับพลังงานที่เรียกว่า Deep donor level ห่างจากแถบวาเลนซ์ประมาณ 0.35 + 0.02 eV ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับ เฟอร์มิ (Fermi level) ดังนั้นอิเลคตรอนจาก deep donor level ตกลงมายังระดับพลังงานที่ต่ำกว่าในแถบวาเลนซ์ซึ่งจะรวมตัวกับโฮลลดลง ค่าสภาพต้านทานจึงมีค่าสูงขึ้น ถ้าเพิ่มปริมาณอะตอมของทองจนกระทั่งโฮลในแถบวาเลนส์รวมตัวกับอิเลคตรอนเกือบหมด จะทำให้ค่าสภาพต้านทานกลายเป็น n – type ดังนั้นจะเห็นว่าระดับพลังงาน deep donor level นี้ ทำหน้าที่คล้ายกับมีการจับโฮล (trap hole) ในแถบวาเลนซ์ได้

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานที่อุณหภูมิ 300 องศาเคลวินกับ ความหนาแน่นของอะตอมในสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น และ พี แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 (a) และ ( b) ตามลำดับ




รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพต้านทานและ
ความหนาแน่น ของสารกึ่งตัวนำ (a) ชนิดเอ็น (b) ชนิดพี มีค่าความหนาแน่นดังนี้ ( $cm^{-3}$ )

A = 1 X $10^{13}$ B = 2 X $10^{13}$ C = 5 X $10^{14}$ D = 1 X $10^{14}$ E = 2 X $10^{14}$

F = 5 X $10^{14}$ G = 1 X $10^{15}$ H = 2 X$10^{15}$ I = 5 X$10^{15}$ J = 1 X $10^{15}$

K = 2 X $10^{16}$ L = 5 X $10^{16}$ M = 1 X $10^{17}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



**2.2.3 ความต้านทานเชิงลบ ( Negative Resistance )**

เป็นความต้านทานที่กระแสไหลผ่านมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่แรงดันตกคร่อมตัวมันมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.14 ( a )

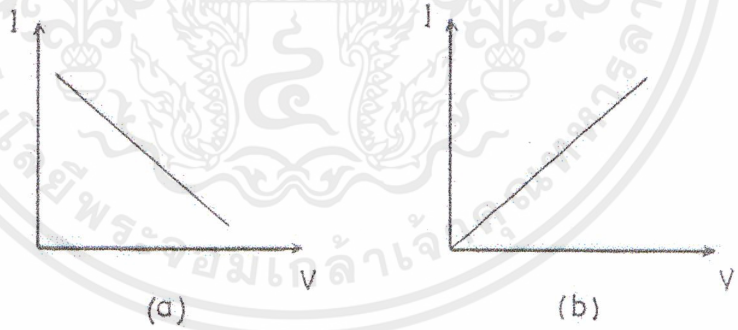
**ประเภทของความต้านทานเชิงลบ**

ความต้านทานเชิงลบแบบ S ( Current control negative resistance )

ความต้านทานเชิงลบชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายตัวอักษรตัว S ดังรูป 2.14 ความต้านทานเชิงลบแบบ S นี้ สามารเกิดได้โดยการควบคุมด้วยกระแสกล่าวคือ เมื่อกระแส มีค่าเท่ากับกระแสวิกฤติ $I_{th}$ (Threshold current) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ความต้านทานเชิงลบแบบนี้ขึ้นจึงเรียกความต้านทานดังกล่าวนี้ว่า Current Controlled Negative Resistance (VCNR)

ความต้านทานเชิงลบแบบ N (Voltage controlled negative resistance )

ลักษณะของความต้านทานเชิงลบชนิดนี้ จะคล้ายกับตัวอักษรตัว N ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งความต้านทานเชิงลบดังกล่าวนี้ เกิดขึ้นได้โดยการควบคุมด้วยแรงดัน โดยต้องมีค่าเท่ากับแรงดันค่าหนึ่ง ( Peak Voltage ) จึงเรียกความต้านทานเชิงลบดังกล่าวนี้ว่า Voltage Control Negative Resistance (VCNR) ซึ่งจะพบใน Tunnel diode และซิลิกอนพลานาร์ไดโอดแบบ IG p –I- n




รูปที่ 2.14 แสดงคุณบัติความสัมพันธ์ระหว่าง

a. ชนิดที่เป็นความต้านทานเชิงลบ
b. ชนิดที่ไม่มีความต้านทานเชิงลบ

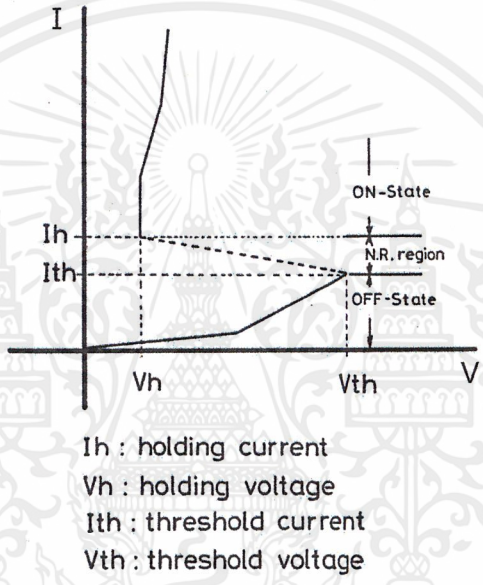
การฉีดประจุคู่ควบ ( Double injection )

เป็นการฉีดประจุพาหะของอิเลคตรอนและโฮล เข้ามาในส่วนอินทรินซิค หรือที่เรียกย่อ ๆ ว่าส่วน i ซึ่งเป็นฉนวนหรือสารกึ่งฉนวน และสามารถสร้างขึ้นมาได้โดยการแพร่สาร เจืออะตอมของทองเข้าไปในผลึกซิลิกอนชนิด เอ็น หรือ พี ทำให้เกิดส่วน i ชนิด n ( V - Type ) หรือ p- ($\pi$-Type ) ขึ้น

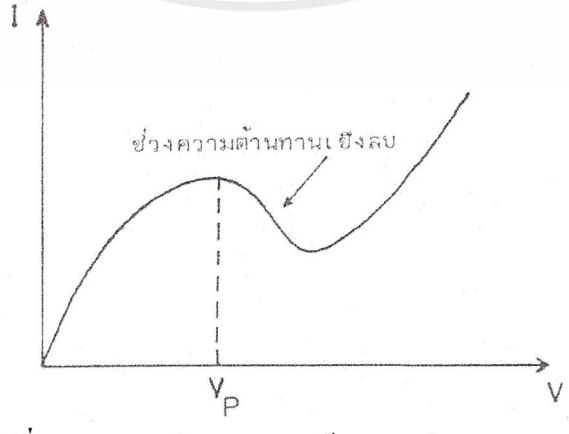
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แล้วสารกึ่งตัวนำที่มีค่าสภาพต้านทานสูงๆ ( high resistivity ) ตั้งแต่ 500 $\Omega$.cm ขึ้นไป ก็ถือได้ว่าเป็นอินทรินซิดด้วย

เมื่ออิเลคตรอนและโฮลถูกฉีดเข้ามาในส่วน I จะเกิดการจับโฮล (trap) หรือรวมกัน (recombination) ที่ Trapping center หรือ deep level ในส่วน I ขึ้นในช่วงหนึ่งหลังจากเกิดการอิ่มตัว คือ อิเลคตรอน และโฮล ถูกแทรปจนเต็ม trapping center แล้วอิเลคตรอนและโฮลจึงสามารถผ่านส่วน I นี้ได้เรียกว่าเกิดการฉีดพาหะคู่ควบ (Double Injection) ดังแสดงใน รูปที่ 2.17




รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะความต้านทานเชิงลบแบบ S (CCNR)




รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะความต้านทานเชิงลบแบบ N (VCNR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

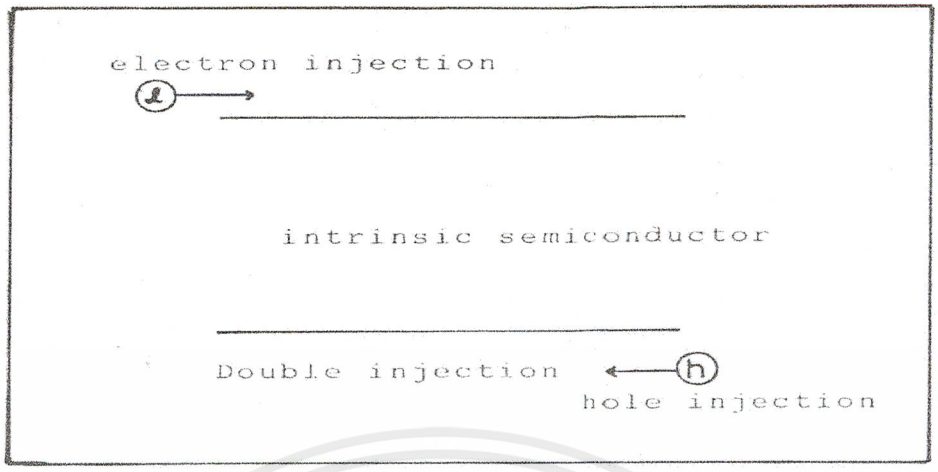
ปรากฏการณ์ความต้านทานเชิงลบแบบ S ในโครงสร้าง P–I–N ไดโอดกลไกการทำงานสำคัญใน P–I–N ไดโอดนี้คือการฉีดประจุพาหะคู่ควบ (Double Injetion ) ผ่านเนื้อการ (bulk ) ส่วน I ซึ่งเป็นอินทรินซิดและมีความต้านทานสูงและสามารถสร้างโดยการแพร่สารเจืออะตอมทองเข้าไปในผลึกซิลิกอนชนิด n และเนื่องจากทองเป็นอะตอมสารเจือชนิดพิเศษที่เรียกว่า deep impurity จะทำให้ผลึกซิลิกอนชนิด n กลายเป็น I ซึ่งมีความต้านทานสูงและความนำไฟฟ้าจะลดลง โดยจะเกิดระดับพลังงานในบริเวณใกล้เคียงกับส่วนกลาง ในช่องว่างพลังงานนี้ว่า deep level หรือ trapping center ดังแสดงในรูปที่ 2.18

ในภาวะเริ่มต้นคือ เมื่อมีแรงดันไบอัส = 0 โวลต์ สมมติให้อิเลคตรอนอยู่ทุก ๆ trapping center ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งในภาวะนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านส่วน I ดังรูปที่ 2.20 ต่อมาเมื่อให้แรงดันไบอัสค่าน้อยๆ จะทำให้เกิดประจุพาหะคือ อิเลคตรอนจากแถบความนำของส่วน N และโฮลจากแถบวาเลนซ์ของส่วน p จะถูกฉีดเข้ามาในส่วน I โดยโฮลจะถูกจับ (trap ) ที่ trapping center แสดงดังรูปที่ 2.21 ทำให้กระแสที่ไหลผ่านไดโอดซึ่งเป็นเพียง single injection ของอิเลคตรอนเท่านั้นมีปริมาณน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ในภาวะดังกล่าวนี้ส่วน I จะแสดงตัวมีความนำไฟฟ้าน้อย

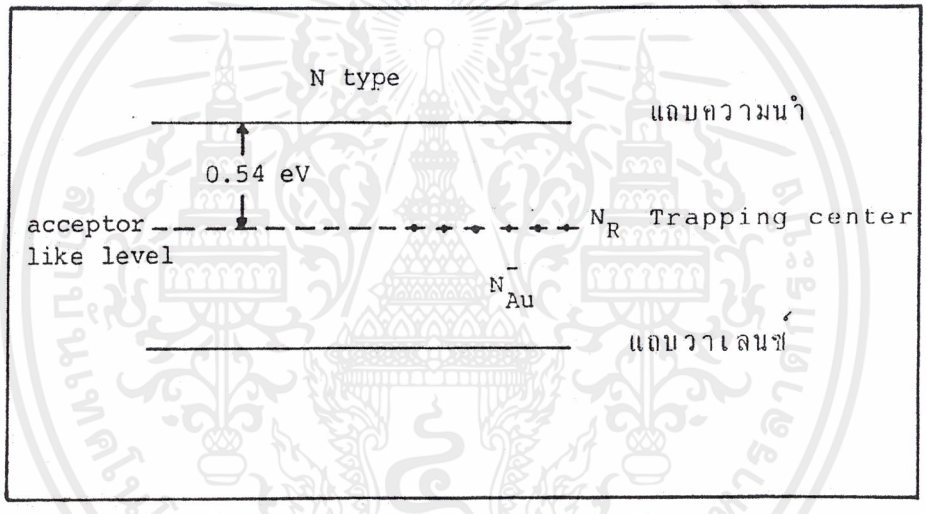
หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสให้สูงขึ้นจนใกล้เคียงกับค่าแรงดันวิกฤต (Thresholdvoltage ) $V_{th}$ หรือ $V_S$ ทั้งโฮลและอิเลคตรอนจะถูกฉีดเข้ามาในส่วน i เป็นปริมาณมากจนกระทั่ง trapping center เกือบทั้งหมดมีโฮลอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน เมื่อได้รับแรงดันไบอัสใกล้เคียงกับแรงดันวิกฤติ แสดงดังรูปที่ 2.24

และเมื่อเพิ่มแรงดันไบอัสต่อไปอีกจนถึงแรงดันวิกฤติ $V_{th}$ ซึ่งตรงกับภาวะที่โฮลถูกจับจนเต็ม trapping center ทั้งหมด จะเกิดการฉีดประจุพาหะคู่ควบ ( Double injection ) ผ่านส่วน I ในภาวะนี้ทั้งอิเลตตรอนและโฮลที่ถูกฉีดเข้ามา จะสามารถ เคลื่อนที่ผ่านส่วน I ไปได้โดยสะดวกและเป็นปริมาณมาก ทำให้กระแสไหลผ่านไดโอดได้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.25 คือคล้ายกับว่าส่วน I เปลี่ยนสภาวะจากที่มีความนำค่าต่ำเป็นความนำสูงช่วงของการเปลี่ยนภาวะดังกล่าวนี้จะเกิดปรากฏการณ์ความต้านทานเชิงลบแบบควบคุมด้วยกระแส (Current Control Negative resistance) ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.26

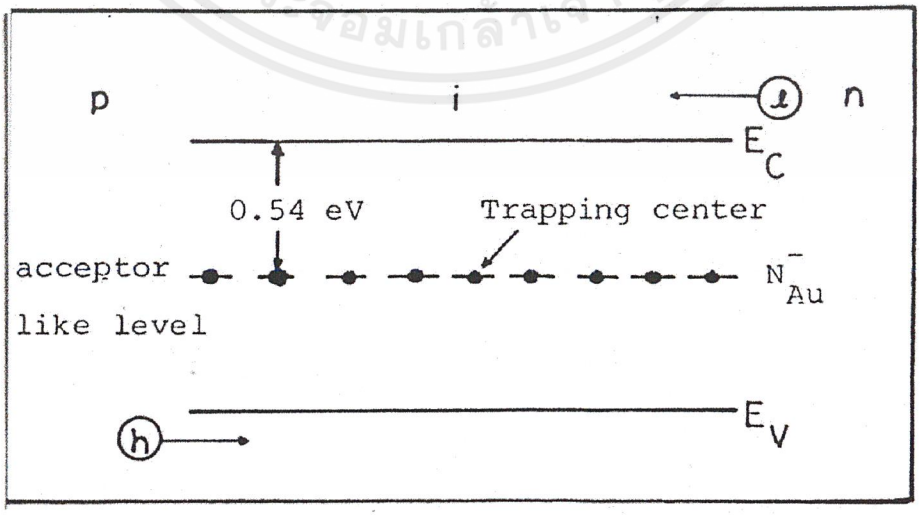
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.17 แสดงการฉีดอิเลคตรอนและโฮลผ่านส่วน I จนทำให้เกิด Double injection

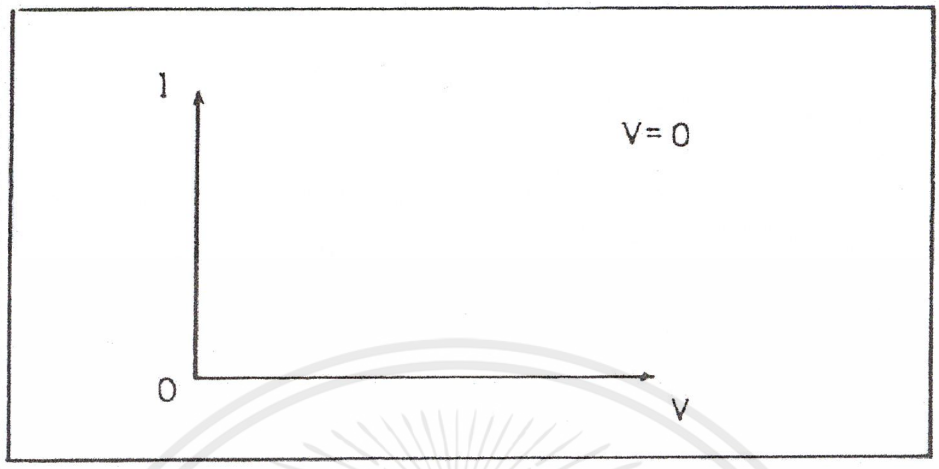



รูปที่ 2.18 แสดงระดับพลังงานแบบ Deep level หลังจาก N- Type ถูกแพร่อะตอมทองแล้ว

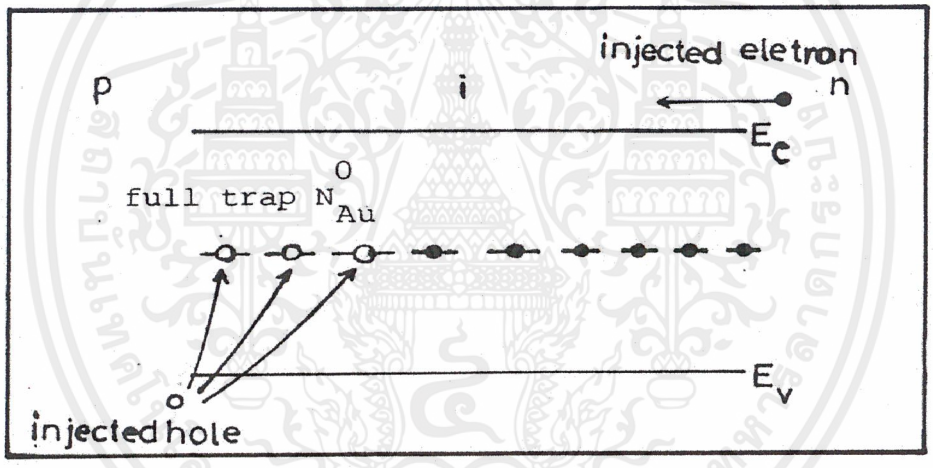



รูปที่ 2.19 แสดงอิเลคตรอนถูกจับจนเต็ม Trapping centersซึ่งยังไม่กระแสไหลผ่านส่วน I

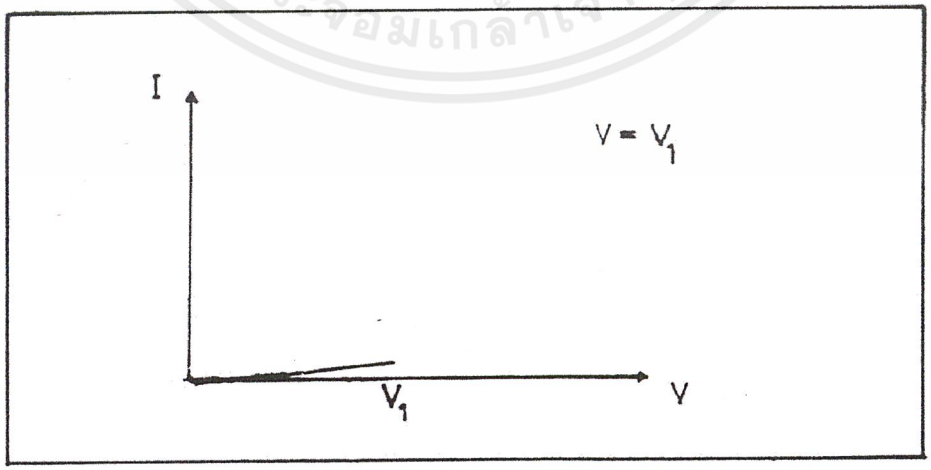
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ซึ่งยังไม่กระแสไหลผ่านส่วน I

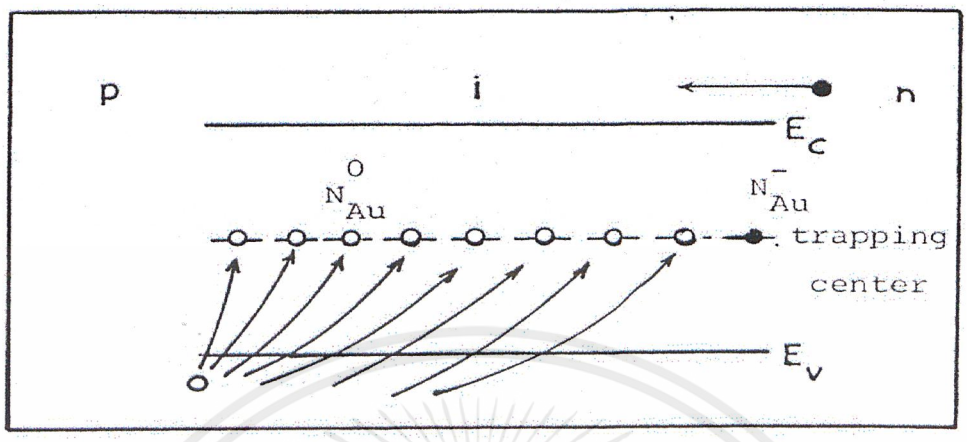



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการเกิด Single injection ของอิเลคตรอนขณะที่แรงดันไบอัสต่ำ

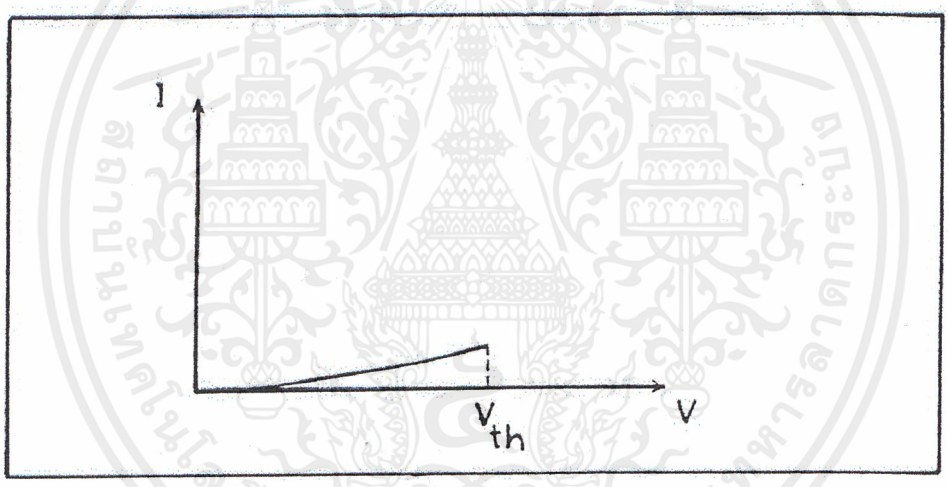



รูปที่2.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันหลังจากที่อิเล็กตรอนถูกจับจนเต็ม Trapping center แล้ว ขณะที่มีแรงดันไบอัสต่ำ

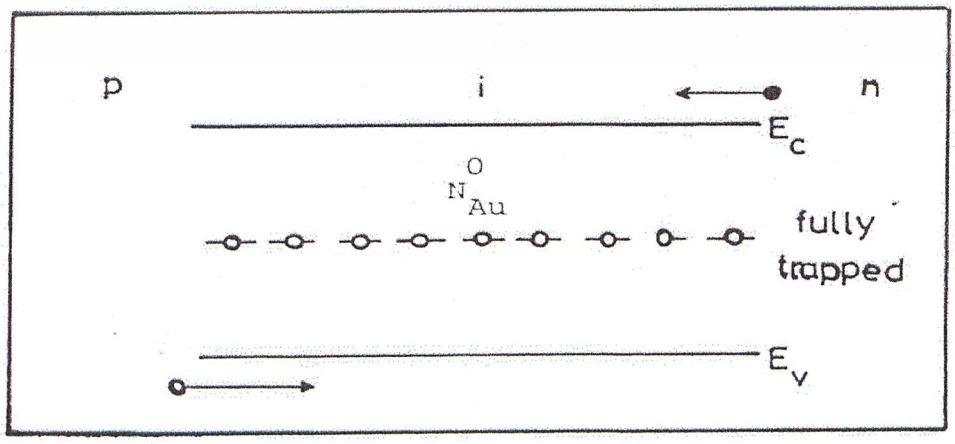
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.23 แสดงการจับโฮลที่เกือบเต็ม Trapping center

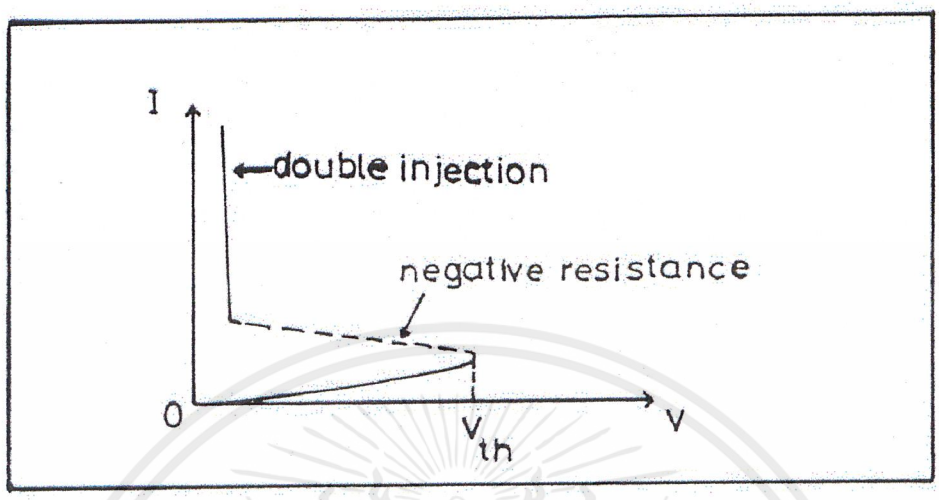



รูปที่2.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน เมื่อแรงดันไบอัสมีค่าใกล้เคียงแรงดันวิกฤติ

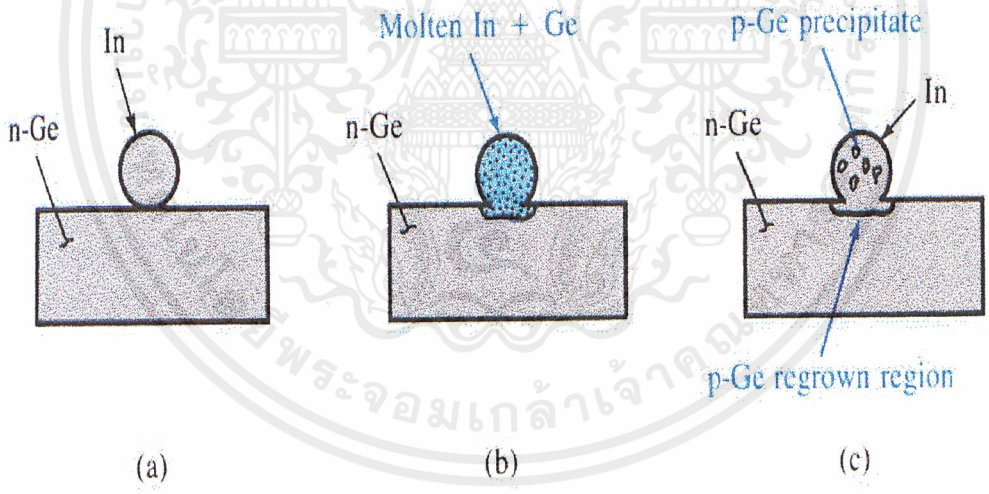



รูปที่ 2.25 แสดงภาวะหลังจากที่อิเลคตรอนและโฮลถูกจับจนเต็ม Trapping center

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.26 แสดงการฉีดประจุคู่ควบ Double injection และการเกิดความต้านทานเชิงลบ




รูปที่ 2.27 แสดงกรรมวิธี Alloy Process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3 วิธีการแอลลอย (alloy method)**

วิธีการแอลลอยก็เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถสร้างรอยต่อพี-เอ็นได้ นั่นคือวิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้ หลักการง่ายๆของวิธีการนี้คือ ทำให้เกิดรอยต่อแอลลอยขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.27 กล่าวคือประกอบขึ้นด้วยชิ้นโลหะ ที่เป็นสารเจือชนิดตรงข้ามกับสารกึ่งตัวนำชิ้นเล็กๆ วางอยู่ที่ผิวบนของชิ้นสารกึ่งตัวนำ เช่น มีชิ้นของอินเดียมชิ้นเล็กๆวางอยู่บนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จากนั้นนำไปทำให้ร้อนผลที่เกิดขึ้นก็คืออินเดียมจะเริ่มหลอมละลายเมื่ออุณหภูมิประมาณ 500 °C จะทำให้เกิดโลหะผสมระหว่างอินเดียมและเยอรมันเนียมขึ้น โดยอินเดียมจะหลอมเหลวรวมกับเยอรมันเนียม และเมื่อทำให้อุณหภูมิเย็นลง เยอรมันเนียมซึ่งมีอินเดียมรวมอยู่ด้วยก็จะกลายเป็นของแข็งและมีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ทำให้เกิดมีรอยต่อพี-เอ็นขึ้นหนึ่งรอยต่อ ซึ่งสภาพของรอยต่อที่ได้จะเป็นรอยต่อชนิดขั้นบันได (Step junction) วิธีการนี้สามารถสร้างไดโอดซึ่งมีหนึ่งรอยต่อ หรือทรานซิสเตอร์ซึ่งมีสองรอยต่อได้เป็นอย่างดี และทรานซิสเตอร์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยวิธีนี้ก็สามารถทำให้มีเบส ซึ่งบางมากๆได้ ดังนั้นจึงมีอัตราการขยายสูงกว่าทรานซิสเตอร์ซึ่งสร้างขึ้นด้วยวิธีดังกล่าวมาแล้ว ทั้งยังทำงานในย่านความถี่ได้สูงกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

## การออกแบบ

ในการออกแบบจะเป็นการพัฒนา PIN – Diode มาเป็น ALIN- Diode ซึ่งในการที่จะพัฒนานั้นจะต้องอ้างอิงกับ PIN – Diode เดิม และเทียบคุณสมบัติกัน ว่าเป็นอย่างไร อีกทั้งยังต้องหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปสร้าง ALIN – Diode ที่สมบูรณ์ต่อไปได้ โดยอาศัยเงื่อนไขของพารามิเตอร์จากสมการทั่วไปของไดโอดดังสมการ 3.1 มาสร้างพารามิเตอร์ในการออกแบบ

$$I_o = Aq[\frac{D_p p_{no}}{L_p} + \frac{D_e n_{po}}{L_e}] \qquad 3.1$$

$$I = I_o[\exp(\frac{qV_A}{kT}) - 1]$$

$$J \propto K_1 \frac{V_1^2}{L^3} \qquad 3.2$$

$$\mu_0 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\sigma_B V_{th}}{2q}$$

A : พื้นที่ของรอยต่อพีเอ็น

$D_{ip}$ : สัมประสิทธิ์การแพร่ของโฮล

$D_e$ : สัมประสิทธิ์การแพร่ของอิเลคตรอน

$p_{no}$ : ความหนาแน่นของโฮลทางด้านเอ็นใน สภาวะสมดุล

$n_{po}$ : ความหนาแน่นของอิเลคตรอนทางด้านพีใน สภาวะสมดุล

$L_p$ : ระยะการแพร่ของโฮล

$L_e$ : ระยะการแพร่ของอิเลคตรอน

$I_o$ : กระแสอิ่มตัว

$N_i^2$ : ความหนาแน่นของประจุพาหะของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์

$\frac{KT}{q}$ : มีค่าเท่ากับ 0.026 V ที่ 300 K

$V_A$ : แรงดันไบอัส

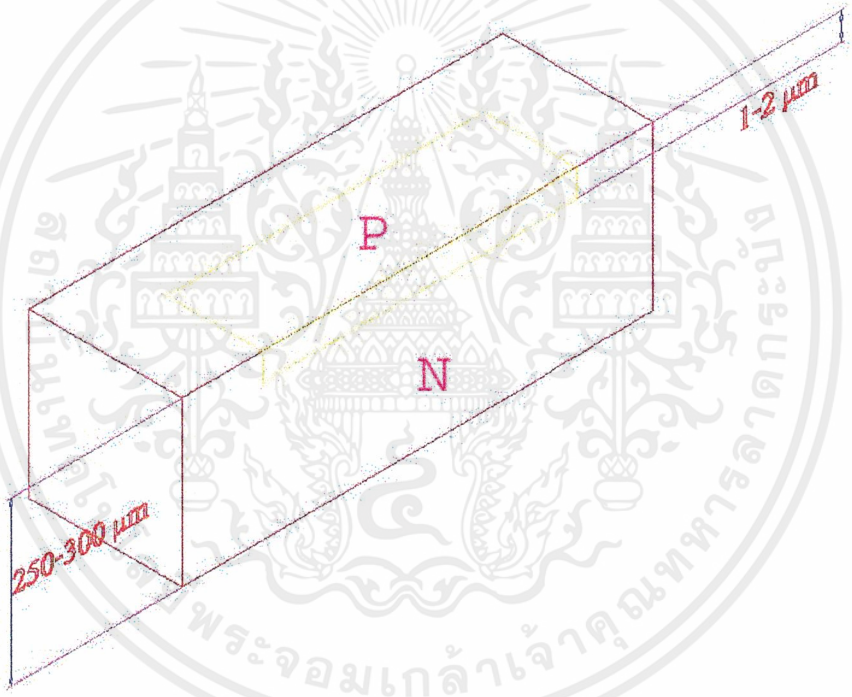
$L$ : ระยะห่างระหว่าง AL กับ N

$\sigma_B$ : ค่าความนำ

$J$ : ความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดังกล่าวจะพบว่ากระแส I นั้นจะแปรผันกับ $I_o$ ,$V_A$,และ T ซึ่งจะเห็นว่า $V_A$ และ T จะไม่ใช่ผลของการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง จึงต้องพิจารณาที่ $I_o$ และ $I_o$ นี้เองจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อโครงสร้างคือ A ซึ่งหมายถึง พื้นที่ของรอยต่อพีเอ็น แต่ในการพิจารณานั้นจะพบว่าพบว่าพื้นที่ของด้านที่เกิดจากความลึก ซึ่งเกิดจากการเติมอะตอมสารเจือนั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ในแนวระนาบจึงอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ในแนวระนาบเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญก็ได้นอกจากพารามิเตอร์ที่ได้จากสมการ ไดโอดแล้วยังได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่เกิดจากกระแสรั่วที่ผิว ( Generation-Recombination ),และ ระยะ I จากสมการที่ 3.2 ของ RH. Parmenter and W. Ruppil




รูปที่3.1 แสดงภาพตัดขวางของไดโอดทั่วไป

ในการออกแบบจะแสดงเป็นหัวข้อและเพื่อความสะดวกจะใช้รหัสในการแสดงความหมายดังนี้ X . YZ โดย X จะเป็นลำดับของโครงสร้าง..A, B, C....

Y จะแสดงลำดับของตัว..1, 2, 3....

Z จะแสดงเป็น 1 เมื่อเป็นโครงสร้าง PIN (ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง)

2 เมื่อเป็นโครงสร้าง ALIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ALIN

**<u>หมวด A</u> พื้นที่** $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| A1.2 | Length of i | = | 60 μm |
| A2.2 | Length of i | = | 100 μm |
| A3.2 | Length of i | = | 120 μm |
| A4.2 | Length of i | = | 140 μm |
| A5.2 | Length of i | = | 160 μm |

**<u>หมวด B</u> พื้นที่** $N = (160\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| B1.2 | Length of i | = | 60 μm |
| B2.2 | Length of i | = | 100 μm |
| B3.2 | Length of i | = | 120 μm |
| B4.2 | Length of i | = | 140 μm |
| B5.2 | Length of i | = | 160 μm |

**<u>หมวด C</u> พื้นที่** $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (160\ \mu m)^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| C1.2 | Length of i | = | 60 μm |
| C2.2 | Length of i | = | 100 μm |
| C3.2 | Length of i | = | 120 μm |
| C4.2 | Length of i | = | 140 μm |
| C5.2 | Length of i | = | 160 μm |

**<u>หมวด D</u> พื้นที่** $N = (160\ \mu m)^2$

$AL = (160\ \mu m)^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| D1.2 | Length of i | = | 60 μm |
| D2.2 | Length of i | = | 100 μm |
| D3.2 | Length of i | = | 120 μm |
| D4.2 | Length of i | = | 140 μm |
| D5.2 | Length of i | = | 160 μm |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หมวด E</u> พื้นที่ $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (120\ \mu m)^2$

E1.2 Length of i = 60 μm

E2.2 Length of i = 100 μm

E3.2 Length of i = 120 μm

E4.2 Length of i = 140 μm

E5.2 Length of i = 160 μm

<u>หมวด F</u> พื้นที่ $N = (120\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

F1.2 Length of i = 60 μm

F2.2 Length of i = 100 μm

F3.2 Length of i = 120 μm

F4.2 Length of i = 140 μm

F5.2 Length of i = 160 μm

<u>หมวด G</u> พื้นที่ $N = (120\ \mu m)^2$

$AL = (120\ \mu m)^2$

G1.2 Length of i = 60 μm

G2.2 Length of i = 100 μm

G3.2 Length of i = 120 μm

G4.2 Length of i = 140 μm

G5.2 Length of i = 160 μm

<u>หมวด N</u> พื้นที่ $N = (60\ \mu m)^2$

$AL = (60\ \mu m)^2$

N1 Length of i = 20, 40, 60, 100 μm

N2 Length of i = 120, 140, 160 μm

<u>หมวด O</u>

O1 Length of i = 40 μm

พื้นที่ 1 $N = (180\ \mu m)^2$

$AL = (180\ \mu m)^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ 2 $N = (140\ \mu m)^2$

$AL = (140\ \mu m)^2$

พื้นที่ 3 $N = (100\ \mu m)^2$

$AL = (100\ \mu m)^2$

พื้นที่ 4 $N = (60\ \mu m)^2$

$AL = (60\ \mu m)^2$

O2 Length of i = 80 μm

พื้นที่ 1 $N = (180\ \mu m)^2$

$AL = (180\ \mu m)^2$

พื้นที่ 2 $N = (140\ \mu m)^2$

$AL = (140\ \mu m)^2$

พื้นที่ 3 $N = (100\ \mu m)^2$

$AL = (100\ \mu m)^2$

พื้นที่ 4 $N = (60\ \mu m)^2$

$AL = (60\ \mu m)^2$

O3 Length of i = 120 μm

พื้นที่ 1 $N = (180\ \mu m)^2$

$AL = (180\ \mu m)^2$

พื้นที่ 2 $N = (140\ \mu m)^2$

$AL = (140\ \mu m)^2$

พื้นที่ 3 $N = (100\ \mu m)^2$

$AL = (100\ \mu m)^2$

พื้นที่ 4 $N = (60\ \mu m)^2$

$AL = (60\ \mu m)^2$

<u>หมวด J</u> พื้นที่ $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

J1.2 Length of i = 120 μm

เปิด Gurading 1 ด้าน

J2.2 Length of i = 120 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**<u>หมวด J</u> พื้นที่** $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

| | | | |
|---|---|---|---|
| J1.2 | Length of i | = | 120 μm |

เปิด Gurading 1 ด้าน

| | | | |
|---|---|---|---|
| J2.2 | Length of i | = | 120 μm |

เปิด Guarding ทุกด้าน

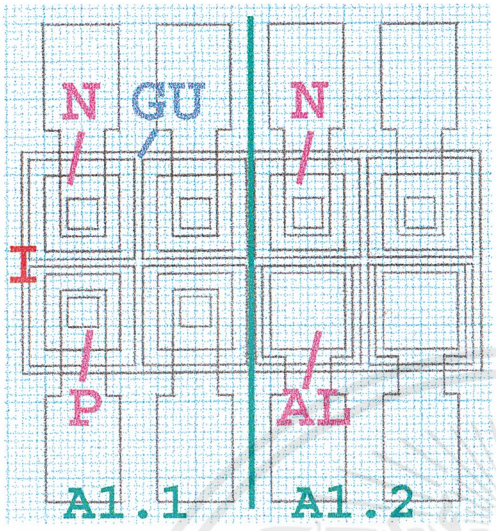
**<u>หมวด P</u> พื้นที่** $N = (200\ \mu m)^2$

$AL = (200\ \mu m)^2$

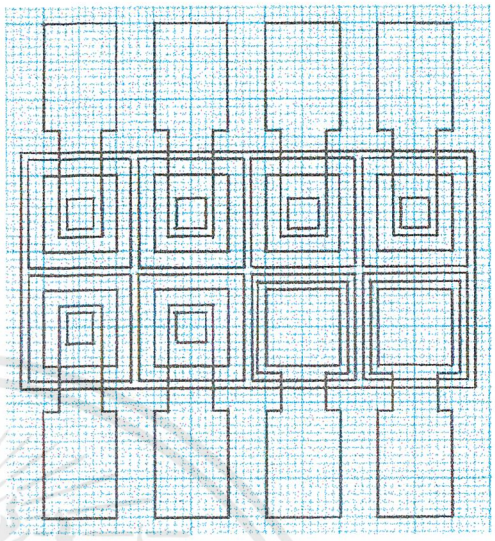
สร้างเป็นลักษณะ Bi-direction

| | | | |
|---|---|---|---|
| P1 | Length of i | = | 60 μm |
| P2 | Length of i | = | 100 μm |
| P3 | Length of i | = | 120 μm |
| P4 | Length of i | = | 140 μm |
| P5 | Length of i | = | 160 μm |

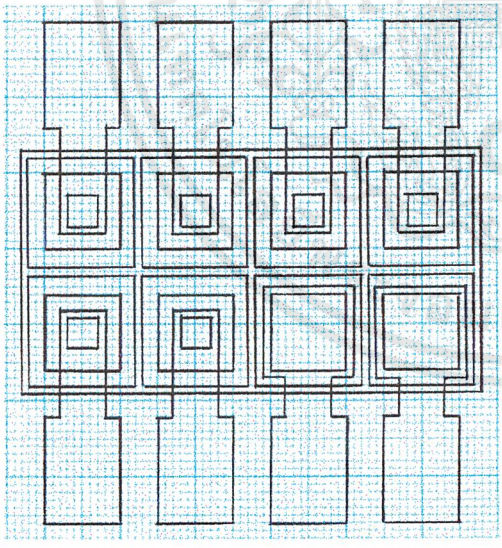
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



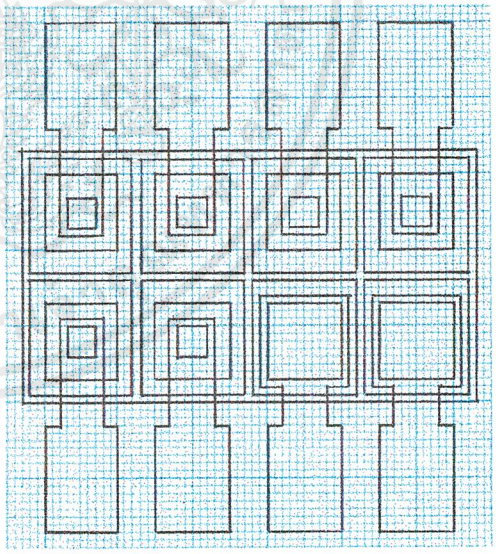

รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้าง A1.1 และ A1.2



รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้าง A2.1 และ A2.2

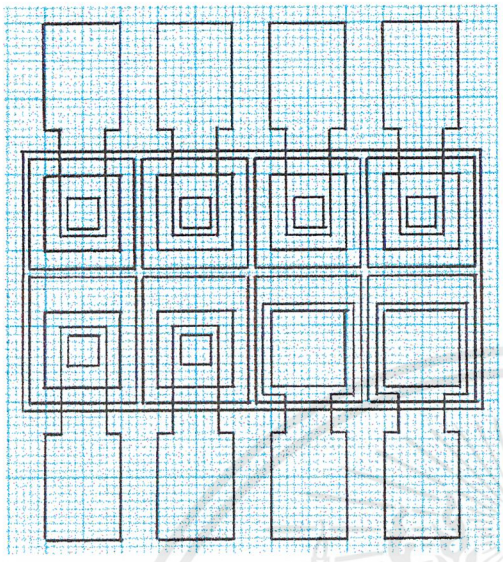


รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้าง A3.1 และ A3.2

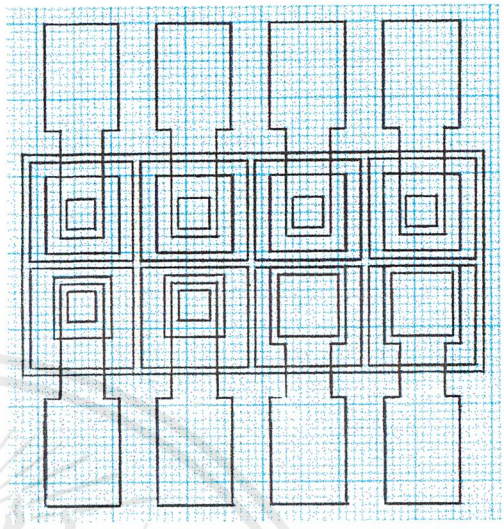


รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้าง A4.1 และ A4.2

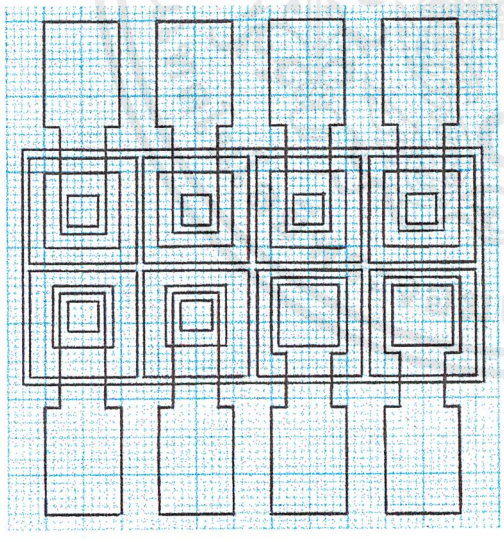
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



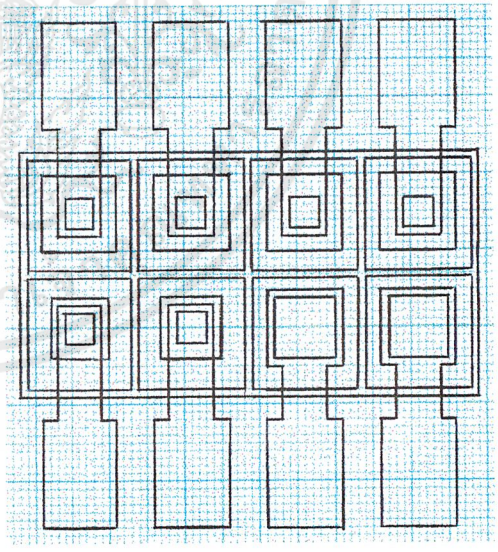
รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้าง A5.1 และ A5.2



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้าง B1.1 และ B1.2

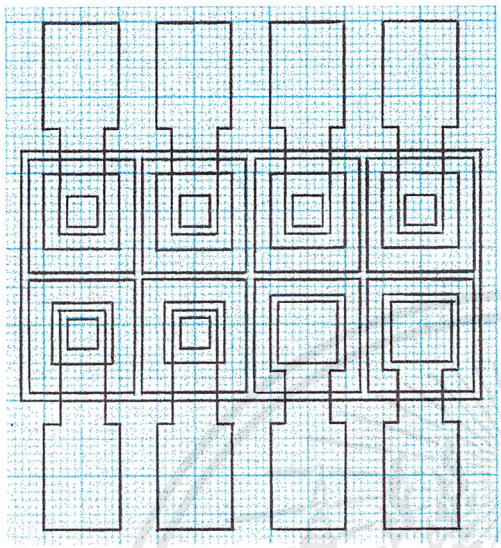


รูปที่ 3.8 แสดงโครงสร้าง B2.1 และ B2.2

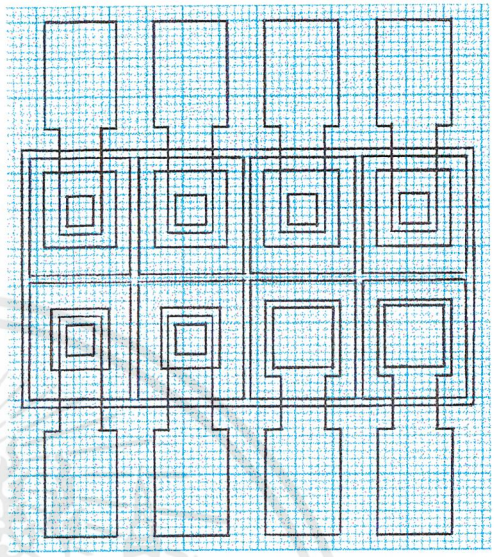


รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้าง B3.1 และ B3.2

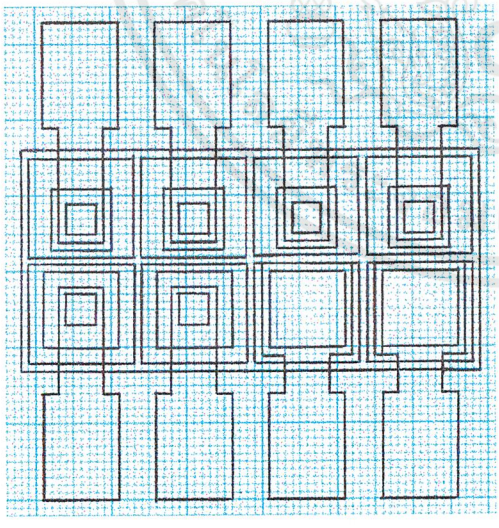
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



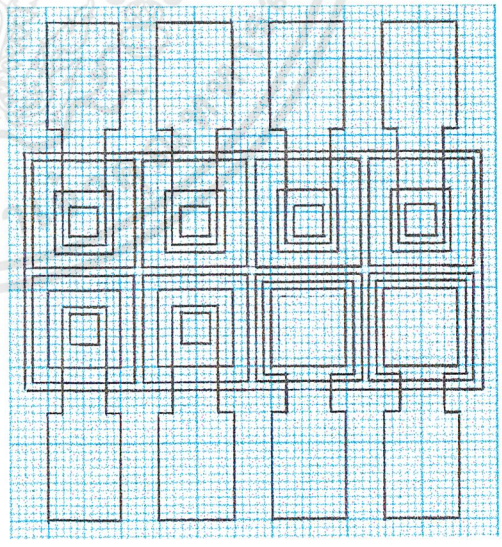
รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้าง B4.1 และ B4.2



รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้าง B5.1 และ B5.2

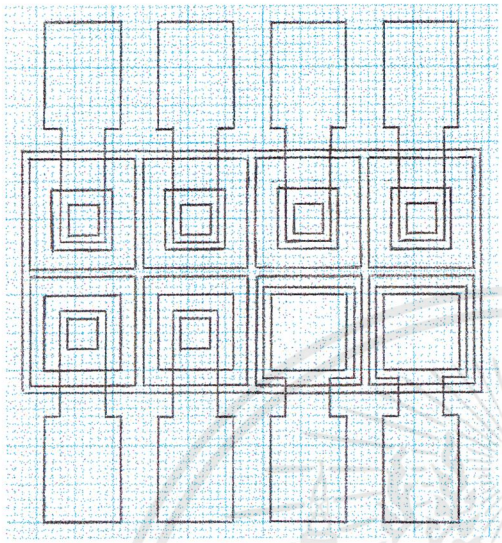


รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้าง C1.1 และ C1.2

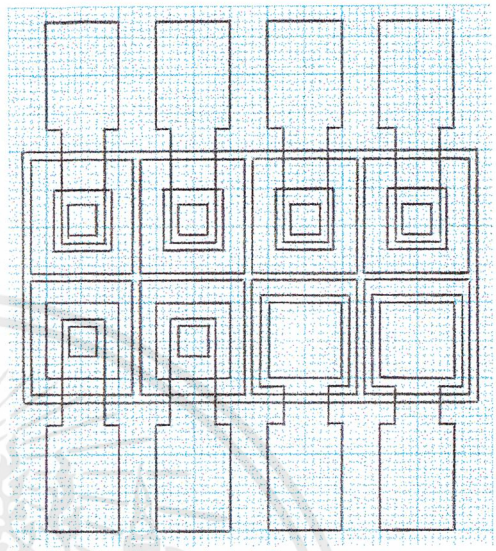


รูปที่ 3.13 แสดงโครงสร้าง C2.1 และ C2.2

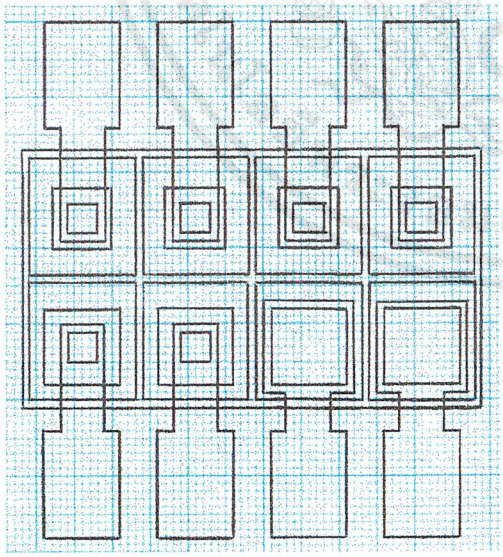
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



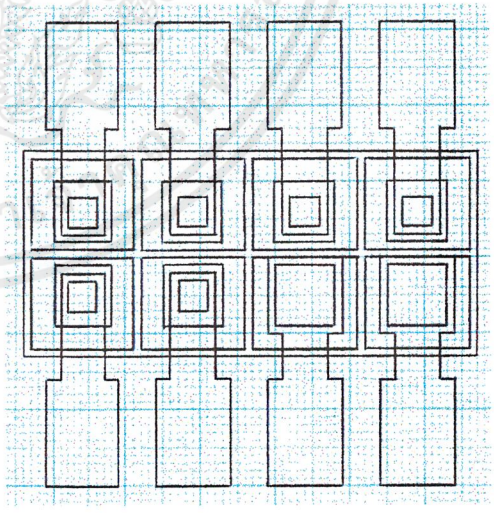
รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้าง C3.1 และ C3.2



รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้าง C4.1 และ C4.2

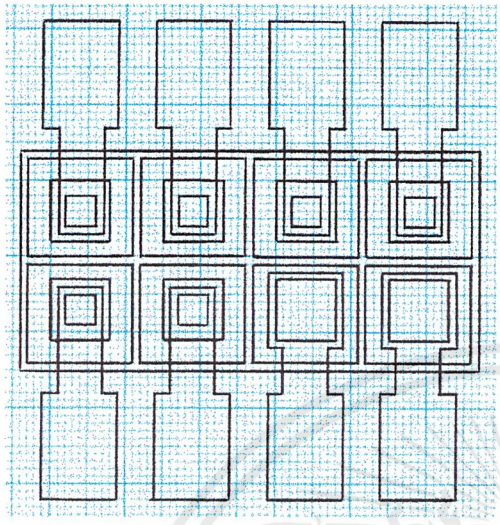


รูปที่ 3.16 แสดงโครงสร้าง C5.1 และ C5.2

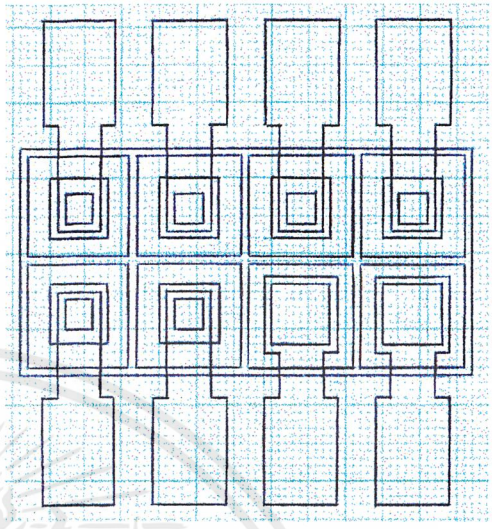


รูปที่ 3.17 แสดงโครงสร้าง D1.1 และ D1.2

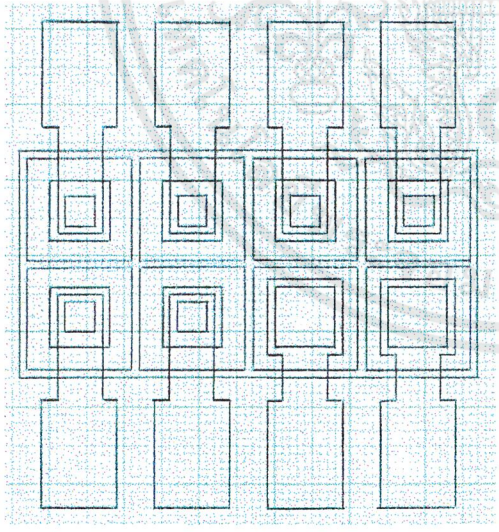
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



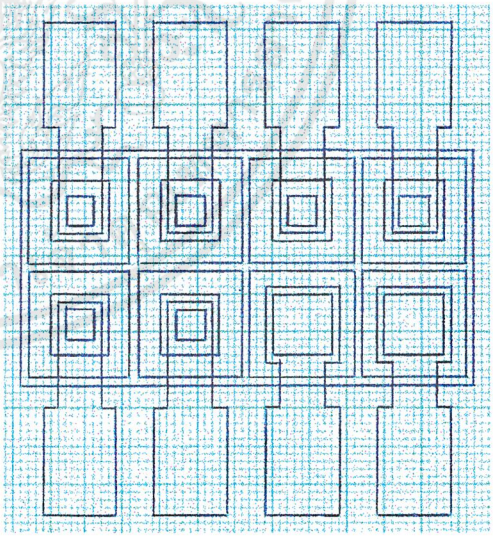
รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้าง D2.1 และ D2.2



รูปที่ 3.19 แสดงโครงสร้าง D3.1 และ D3.2

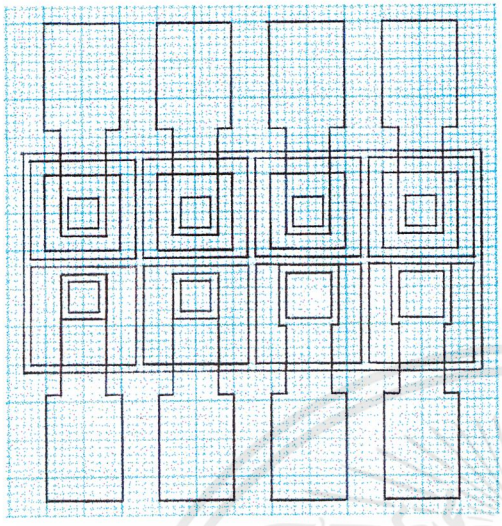


รูปที่ 3.20 แสดงโครงสร้าง D4.1 และ D4.2

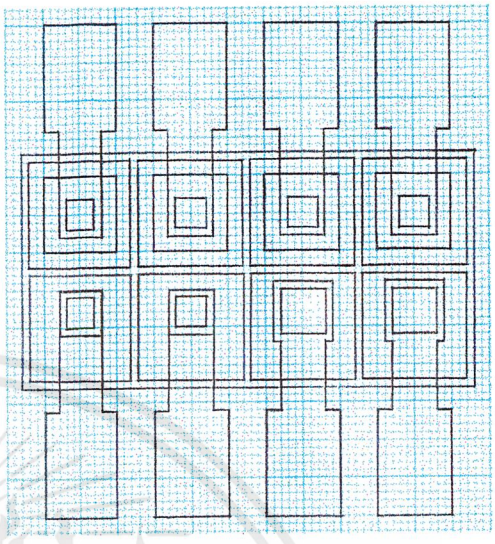


รูปที่ 3.21 แสดงโครงสร้าง D5.1 และ D5.2

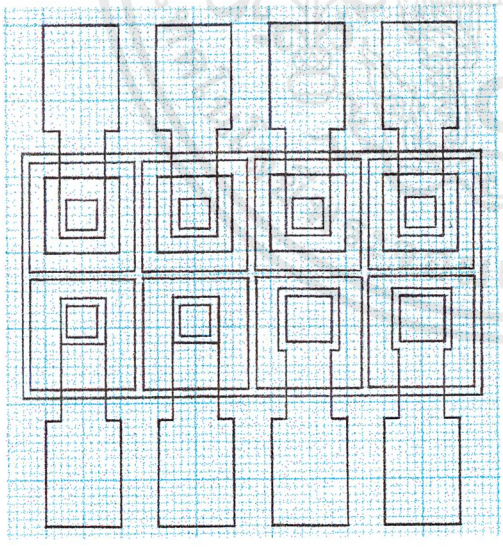
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



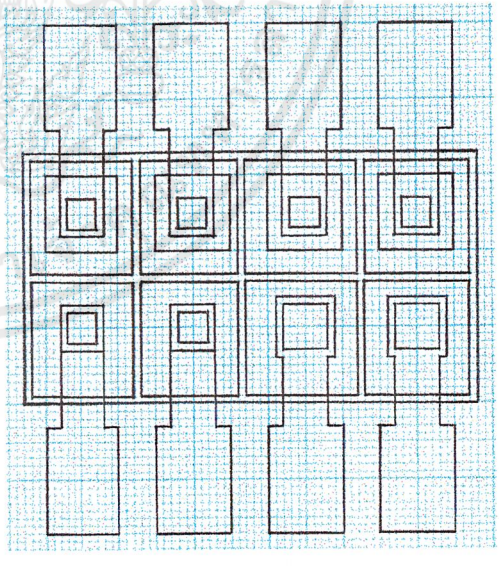
รูปที่ 3.22 แสดงโครงสร้าง E1.1 และ E1.2



รูปที่ 3.23 แสดงโครงสร้าง E2.1 และ E2.2

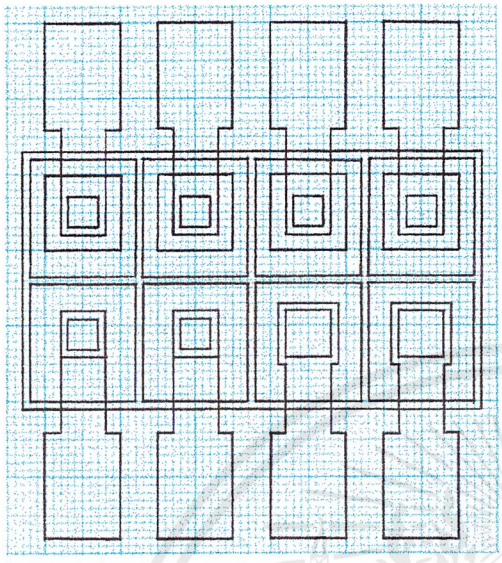


รูปที่ 3.24 แสดงโครงสร้าง E3.1 และ E3.2

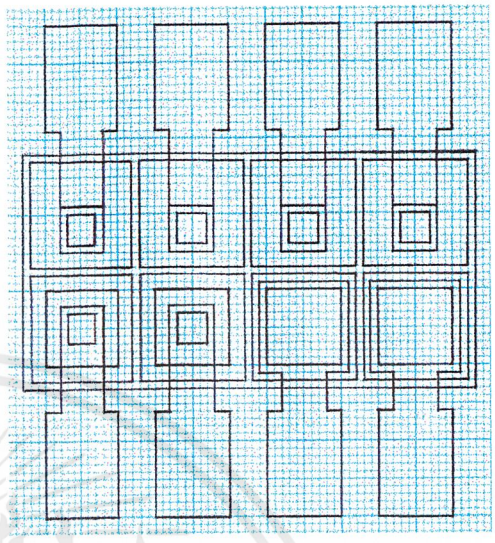


รูปที่ 3.25 แสดงโครงสร้าง E4.1 และ E4.2

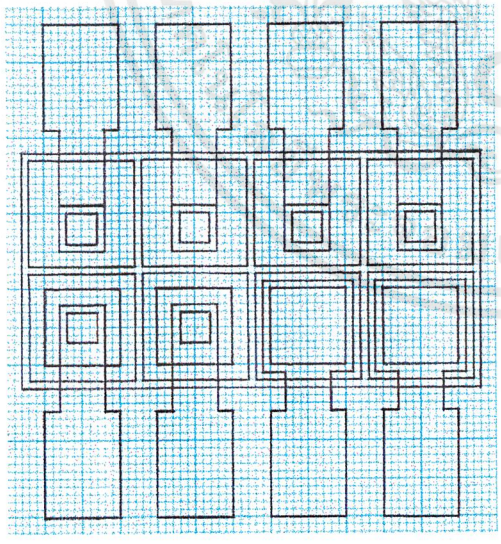
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



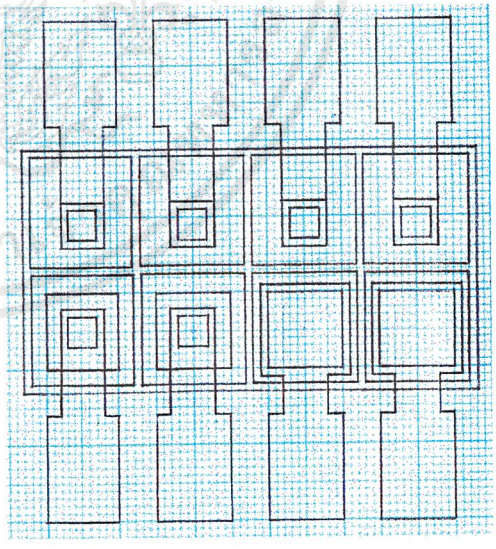
รูปที่ 3.26แสดงโครงสร้าง E5.1 และ E5.2



รูปที่ 3.27 แสดงโครงสร้าง F1.1 และ F1.2

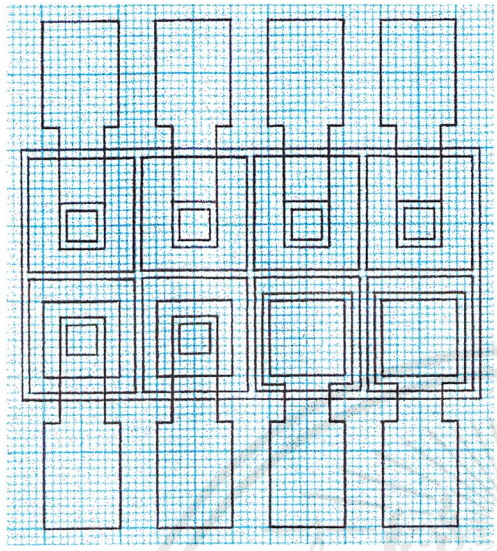


รูปที่ 3.28 แสดงโครงสร้าง F2.1 และ F2.2

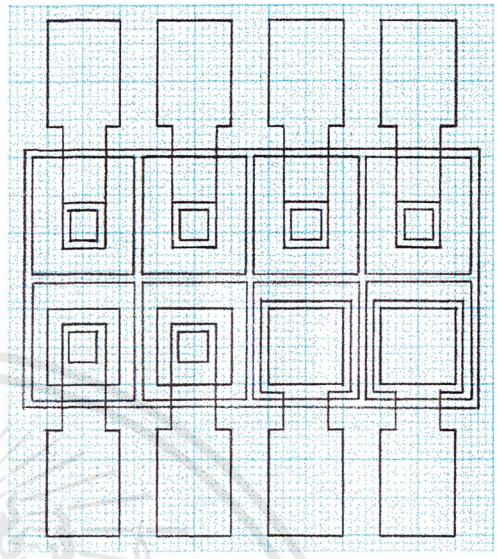


รูปที่ 3.29 แสดงโครงสร้าง F3.1 และ F4.2

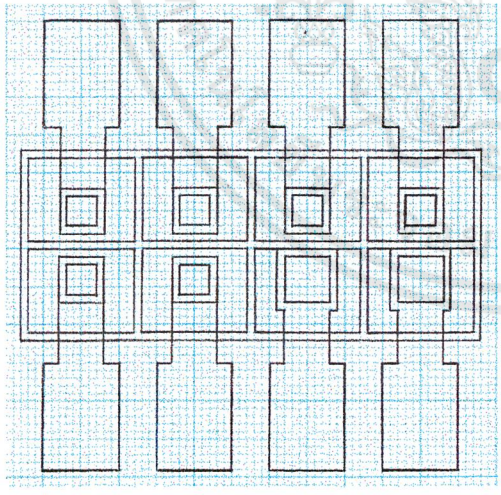
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



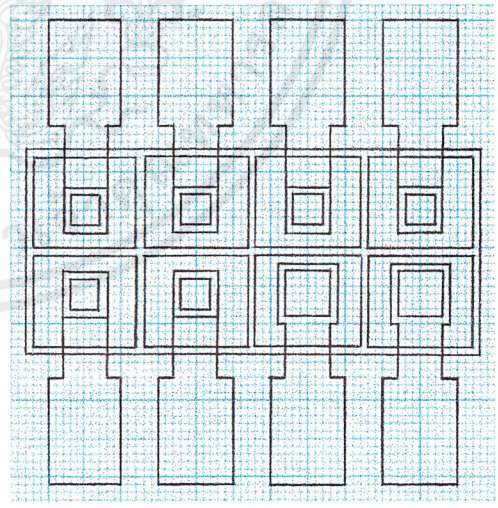
รูปที่ 3.30 แสดงโครงสร้าง F4.1 และ F4.2



รูปที่ 3.31 แสดงโครงสร้าง F5.1 และ F5.2

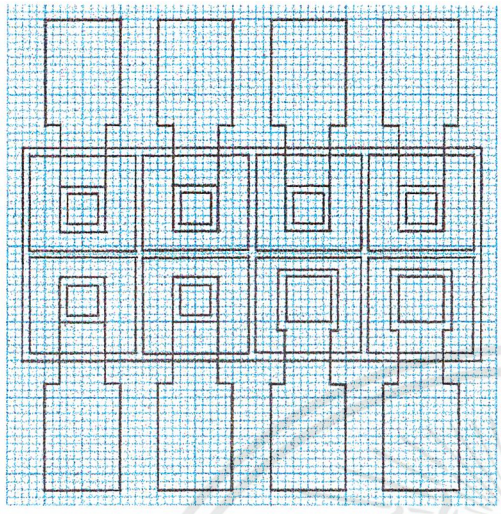


รูปที่ 3.32 แสดงโครงสร้าง G1.1 และ G1.2

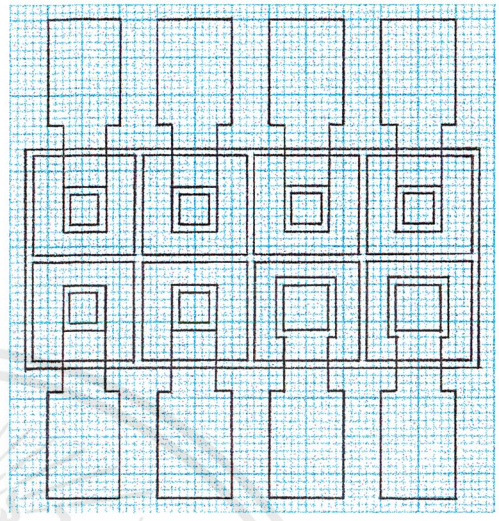


รูปที่ 3.33 แสดงโครงสร้าง G2.1 และ G2.2

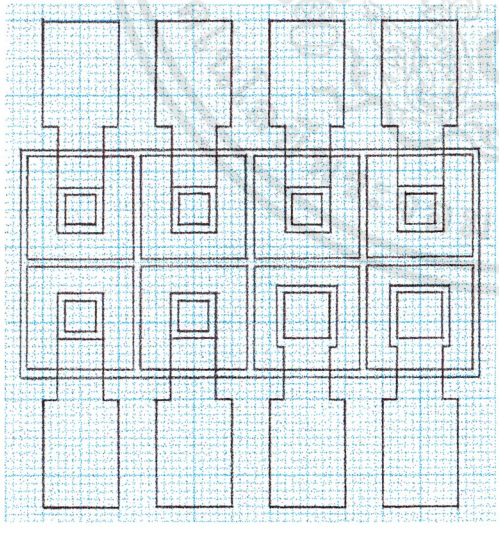
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



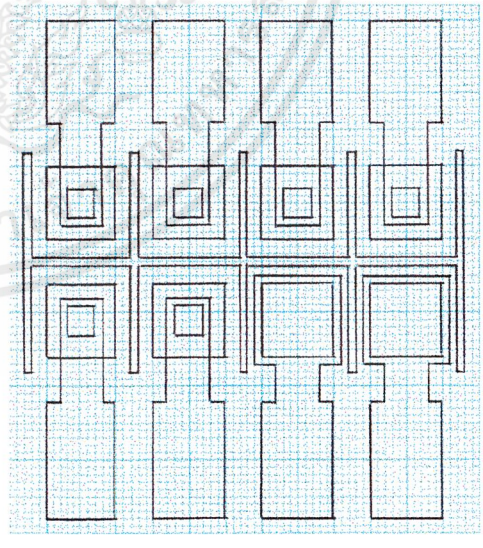
รูปที่ 3.34 แสดงโครงสร้าง G3.1 และ G3.2



รูปที่ 3.35 แสดงโครงสร้าง G4.1 และ G4.2

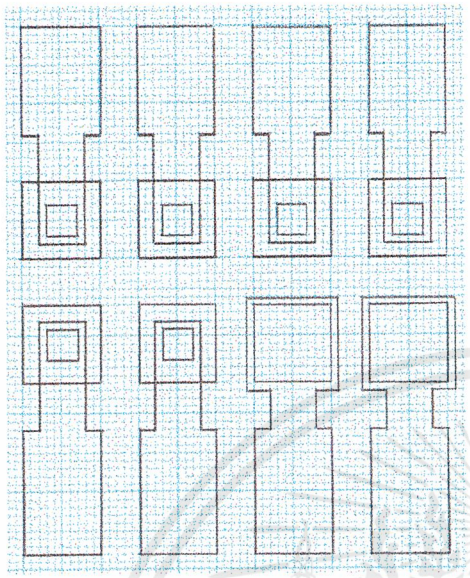


รูปที่ 3.36 แสดงโครงสร้าง G5.1 และ G5.2

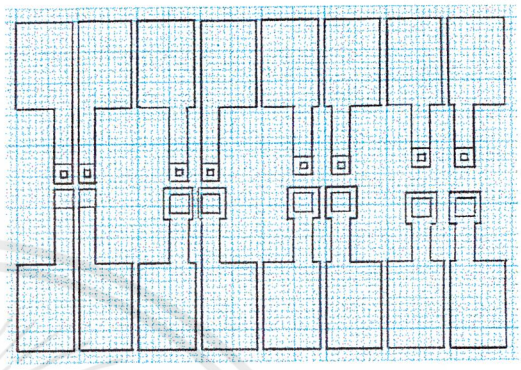


รูปที่ 3.37 แสดงโครงสร้าง J1.1 และ J1.2

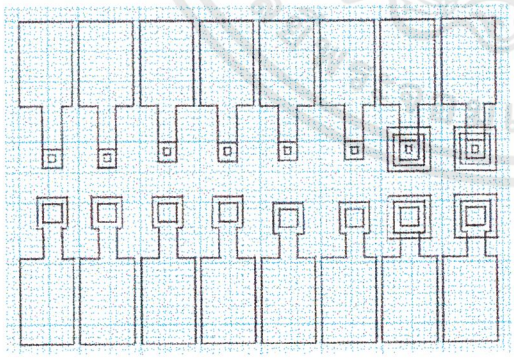
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



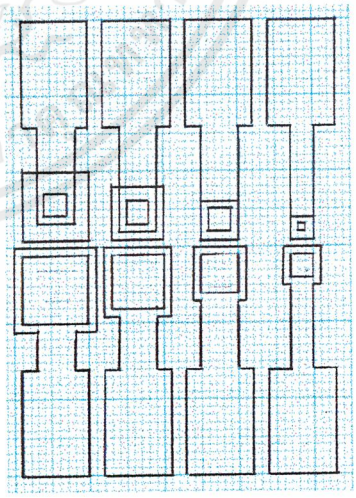
รูปที่ 3.38 แสดงโครงสร้าง J2.1 และ J2.2



รูปที่ 3.39 แสดงโครงสร้าง N1

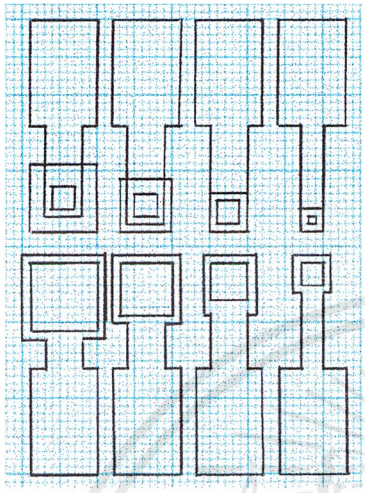


รูปที่ 3.40 แสดงโครงสร้าง N2

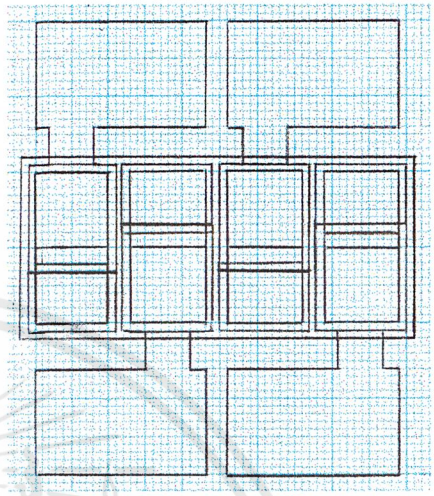


รูปที่ 3.41 แสดงโครงสร้าง O1

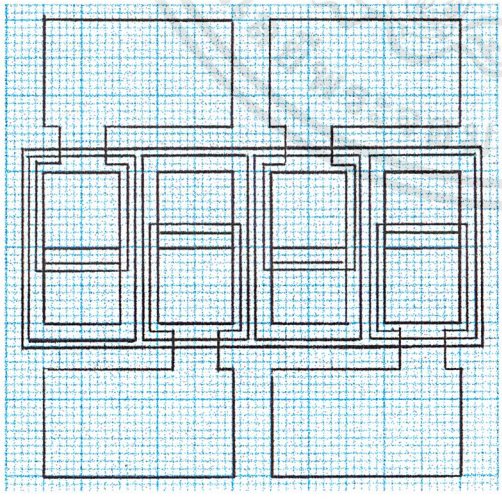
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



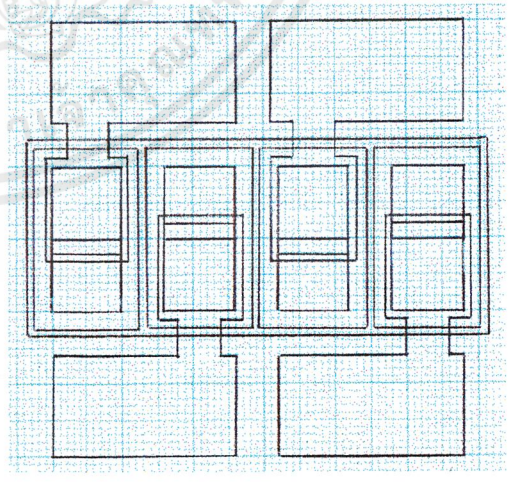
รูปที่ 3.42 แสดงโครงสร้าง O3



รูปที่ 3.43 แสดงโครงสร้าง P1

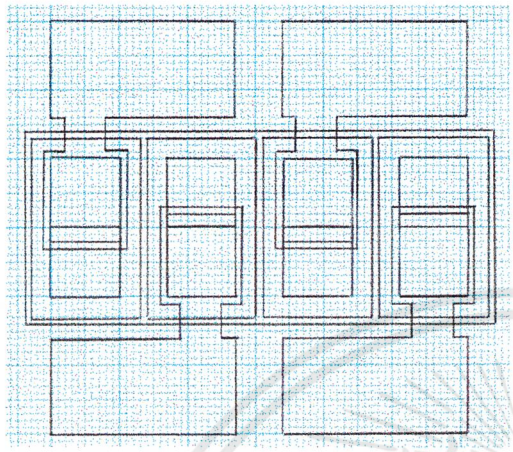


รูปที่ 3.44 แสดงโครงสร้าง P2

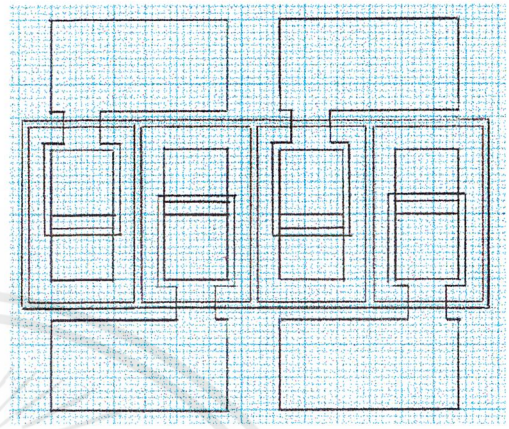


รูปที่ 3.45 แสดงโครงสร้าง P3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

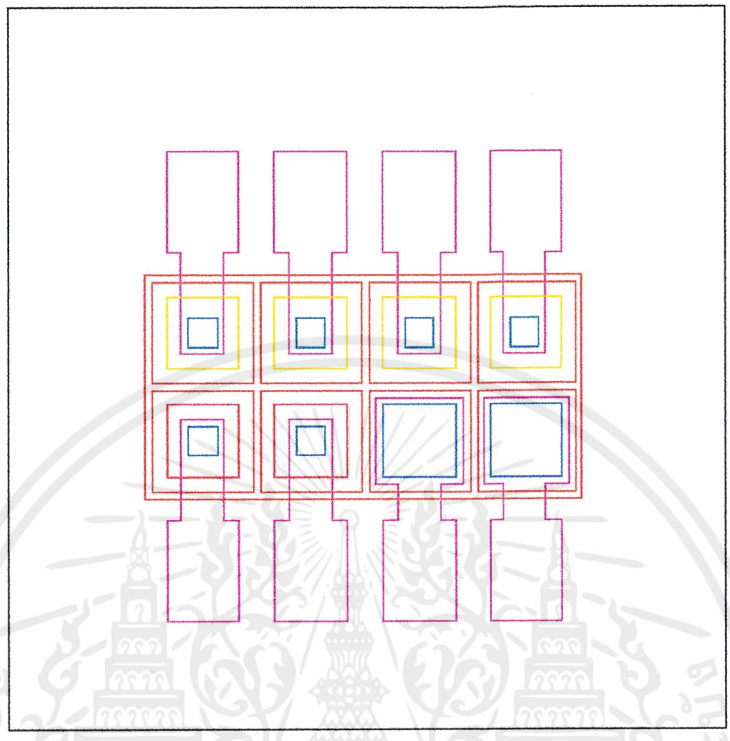


รูปที่ 3.46 แสดงโครงสร้าง P4

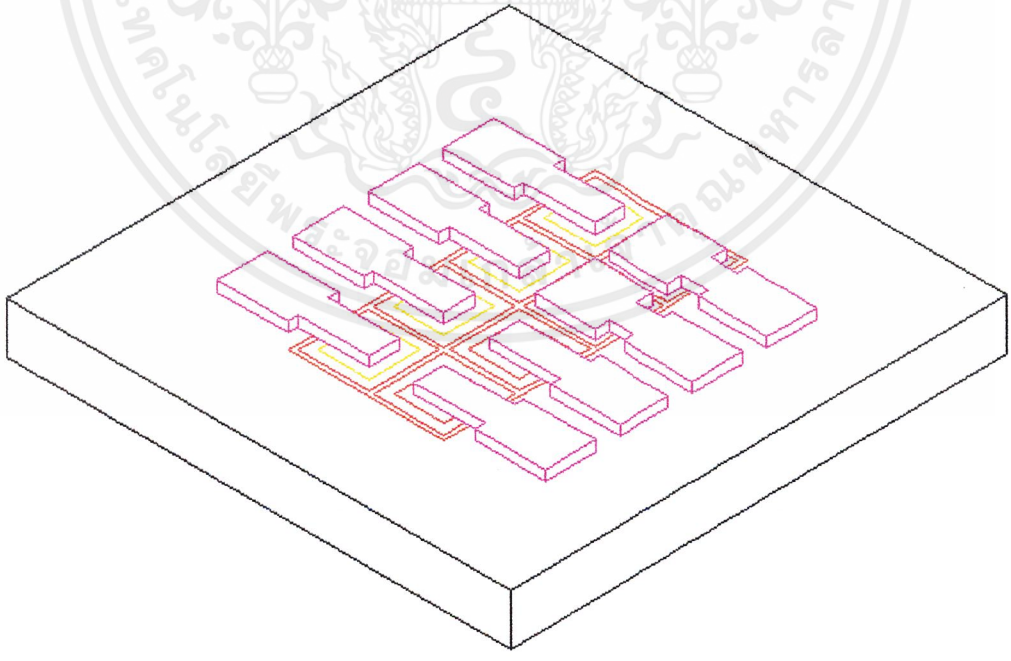


รูปที่ 3.47 แสดงโครงสร้าง P5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

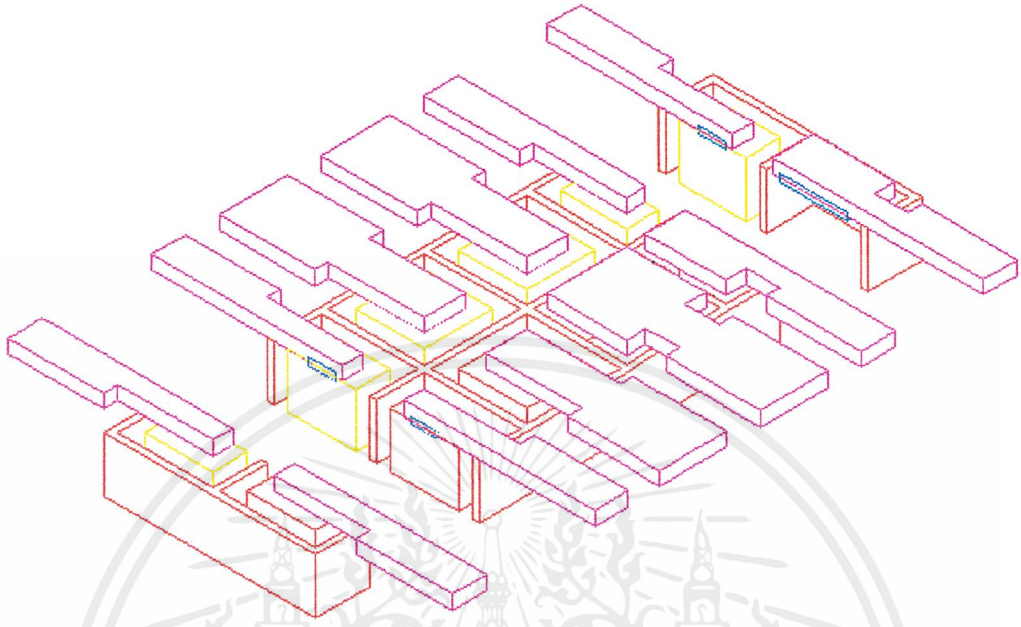


A01



A02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A03

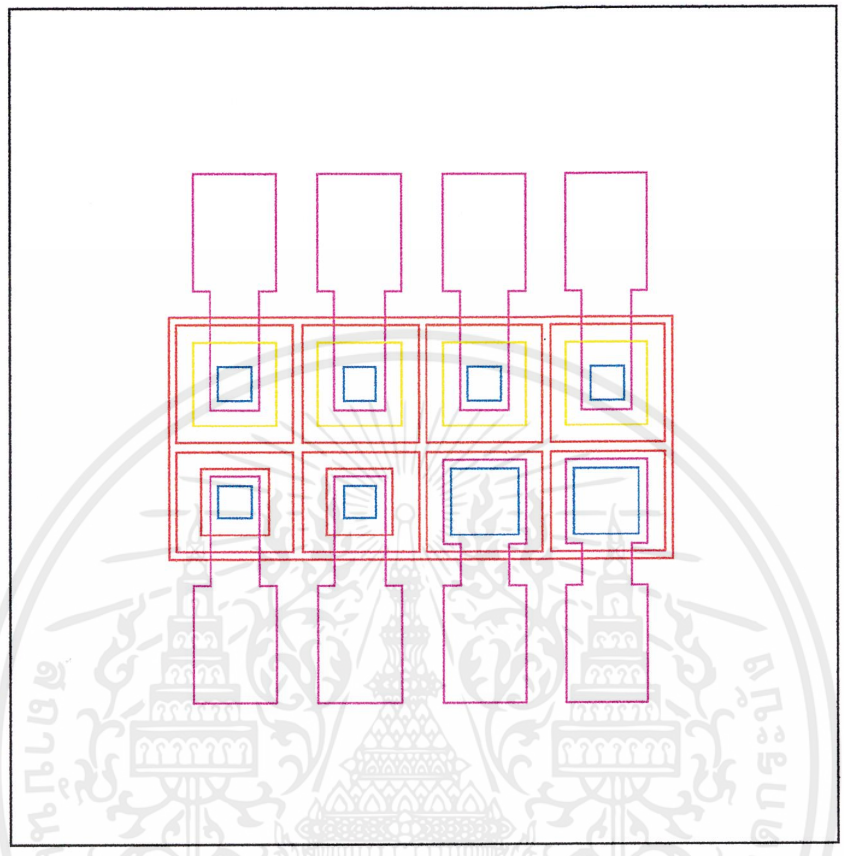
รูปที่ 3.48 แสดงโครงสร้าง A

A01 แสดง ภาพ Top viwe

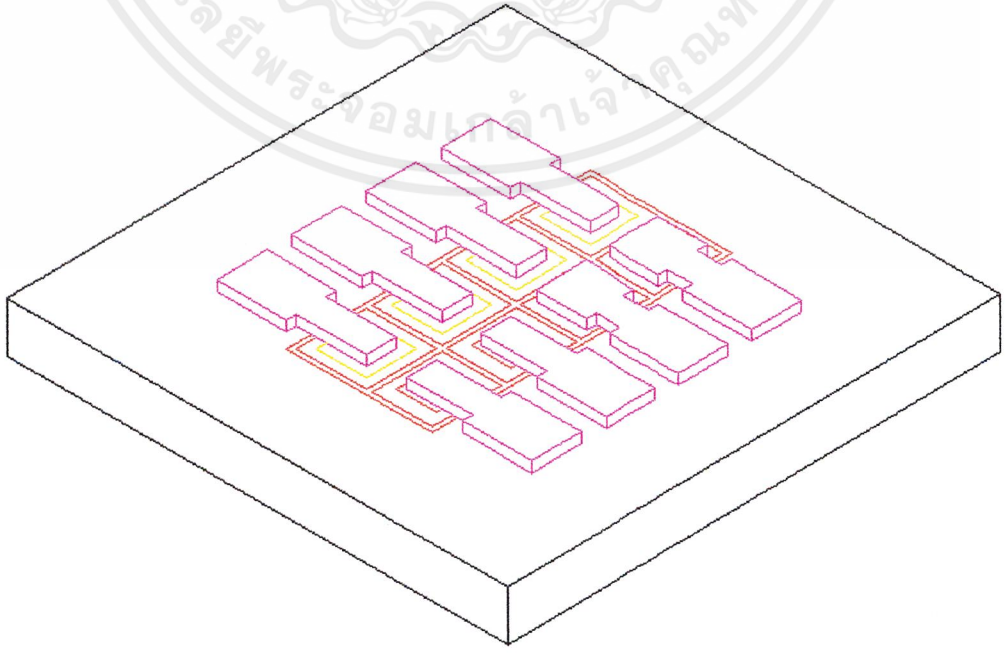
A02 แสดงภาพ 3D

A03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

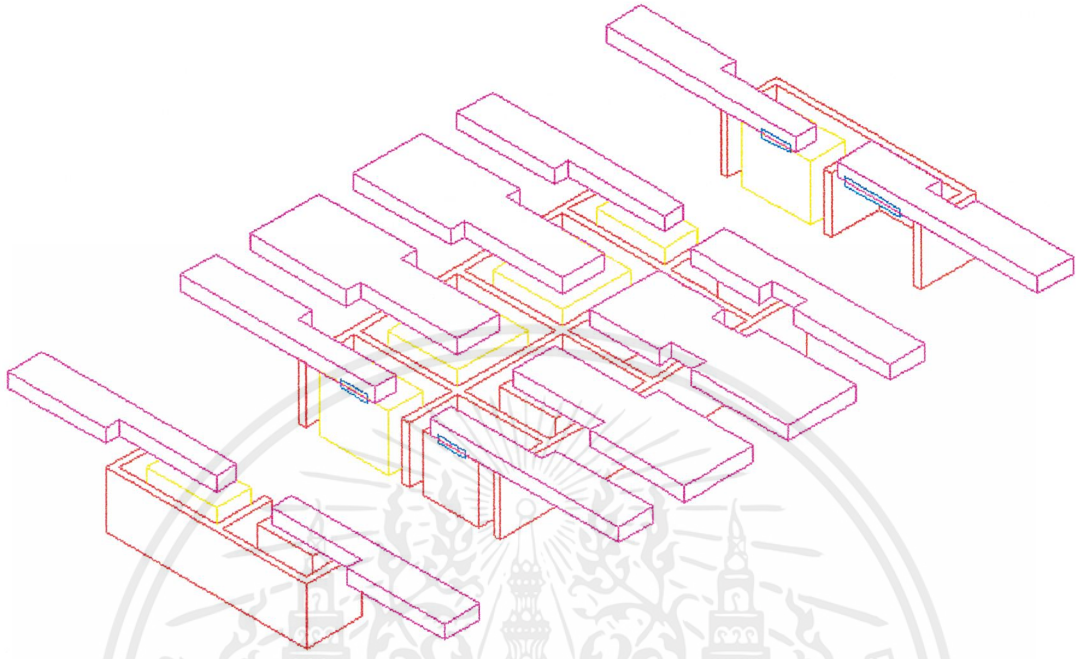


B01



B02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B03

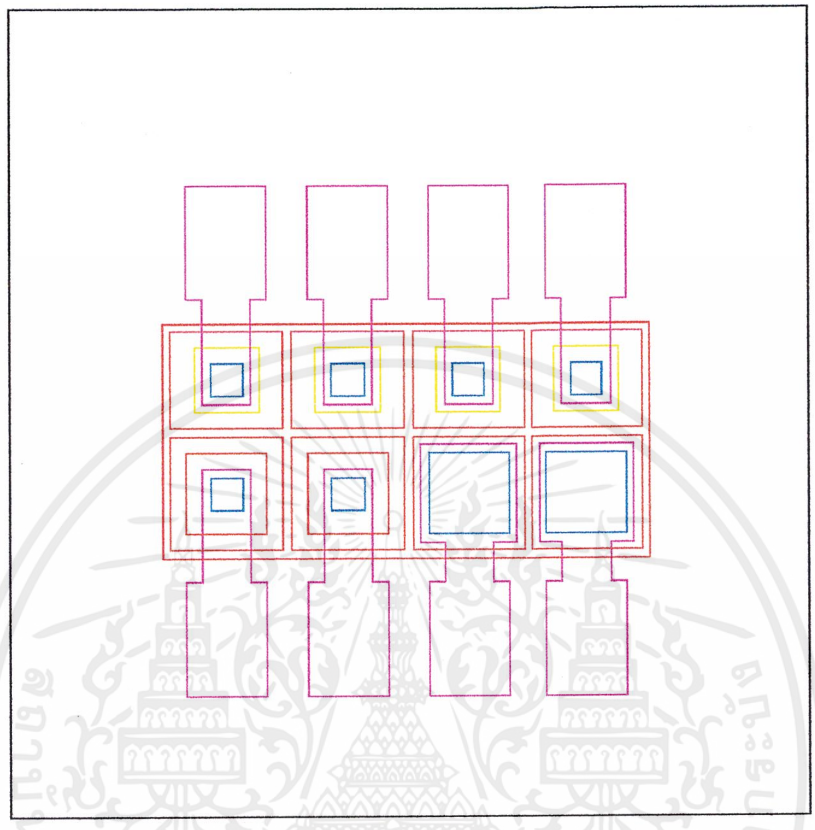
รูปที่ 3.49 แสดงโครงสร้าง B

B01 แสดง ภาพ Top viwe

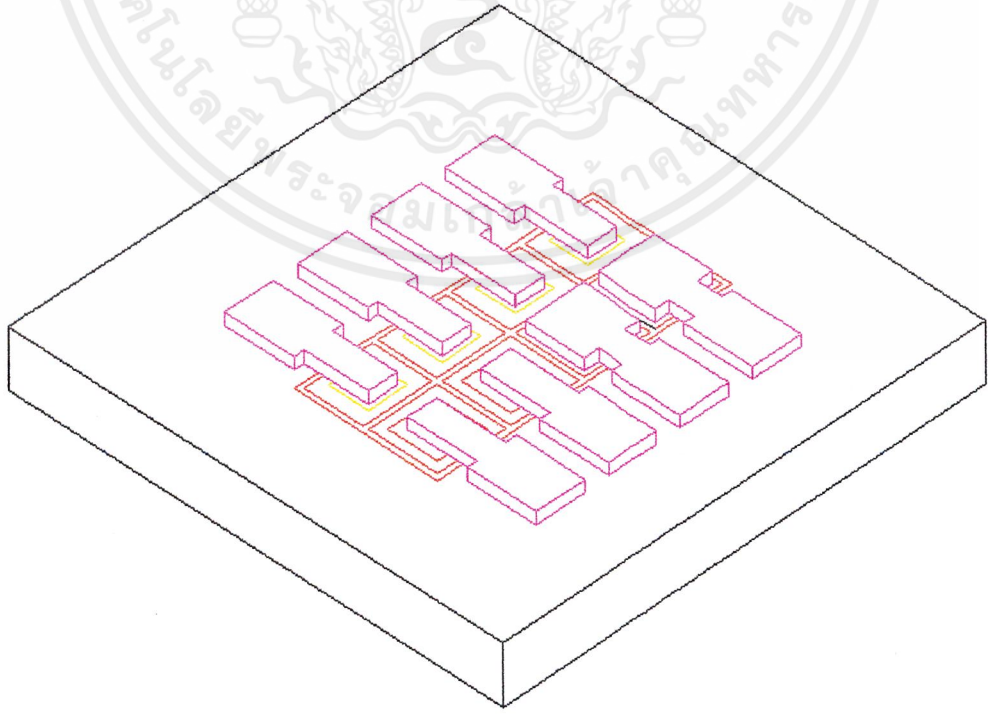
B02 แสดงภาพ 3D

B03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

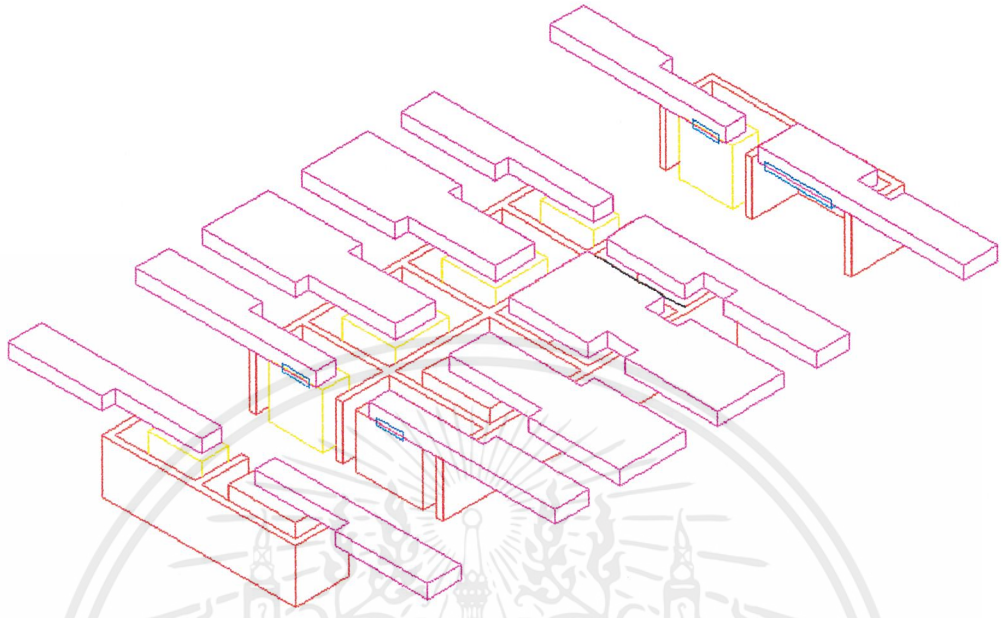


C01



C02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



C03

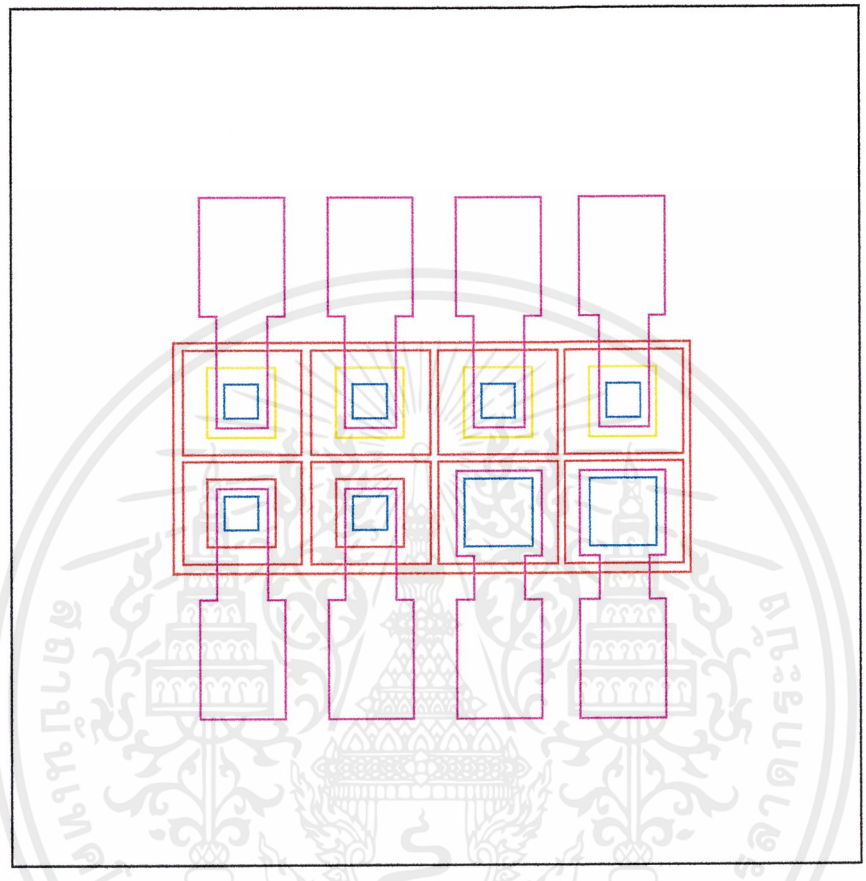
รูปที่ 3.50 แสดงโครงสร้าง C

C01 แสดง ภาพ Top viwe

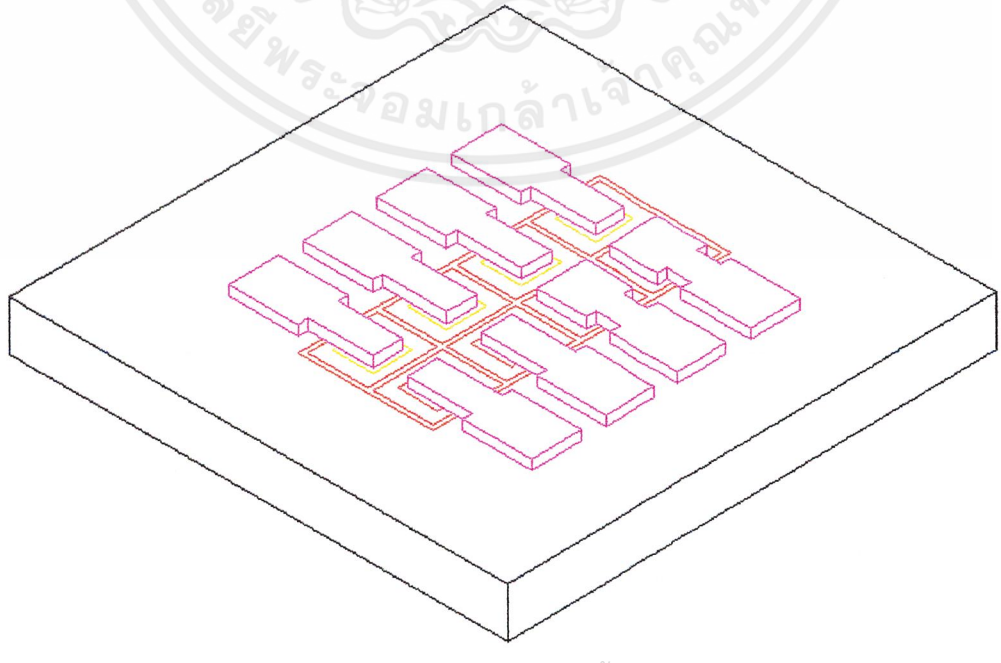
C02 แสดงภาพ 3D

C03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

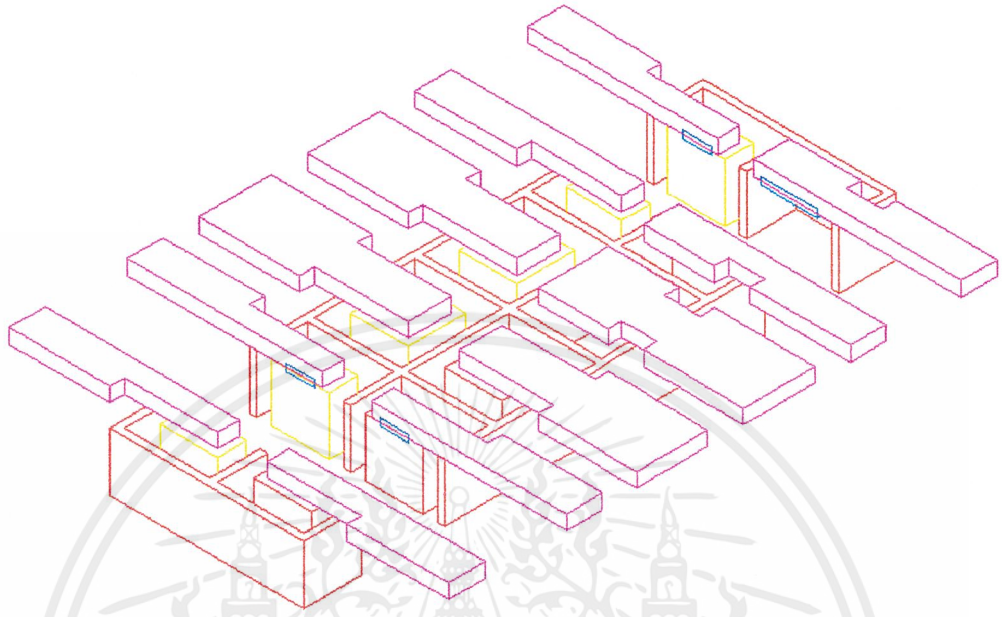


D01



D02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



D03

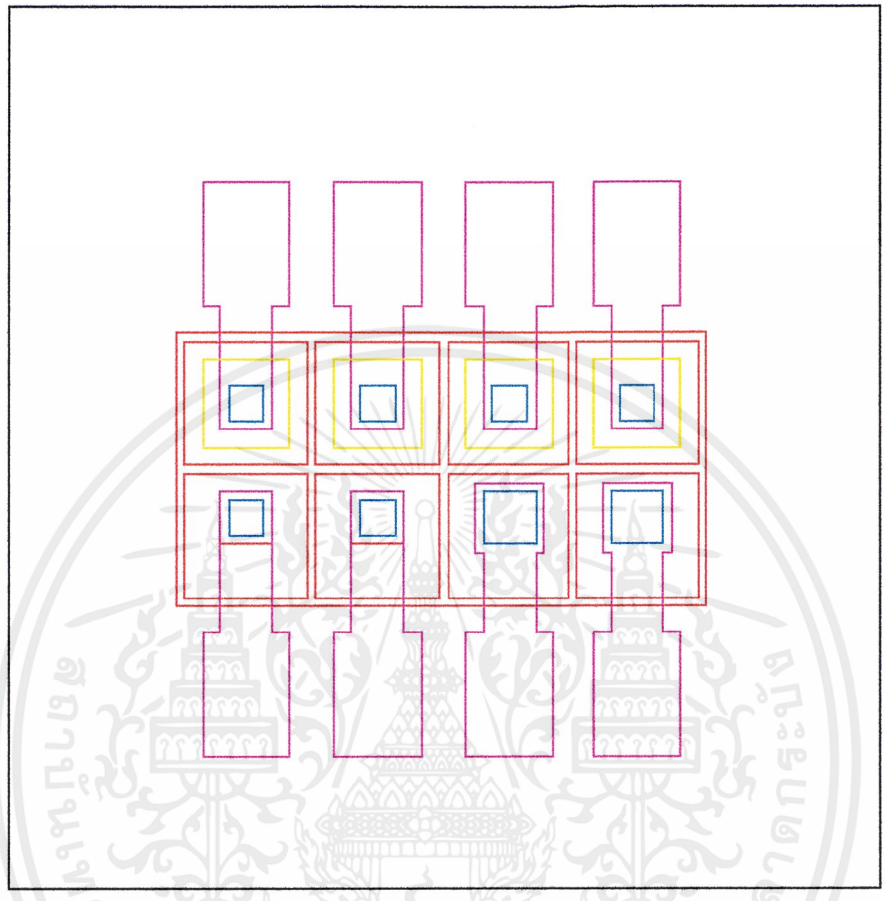
รูปที่ 3.51 แสดงโครงสร้าง D

D01 แสดง ภาพ Top viwe

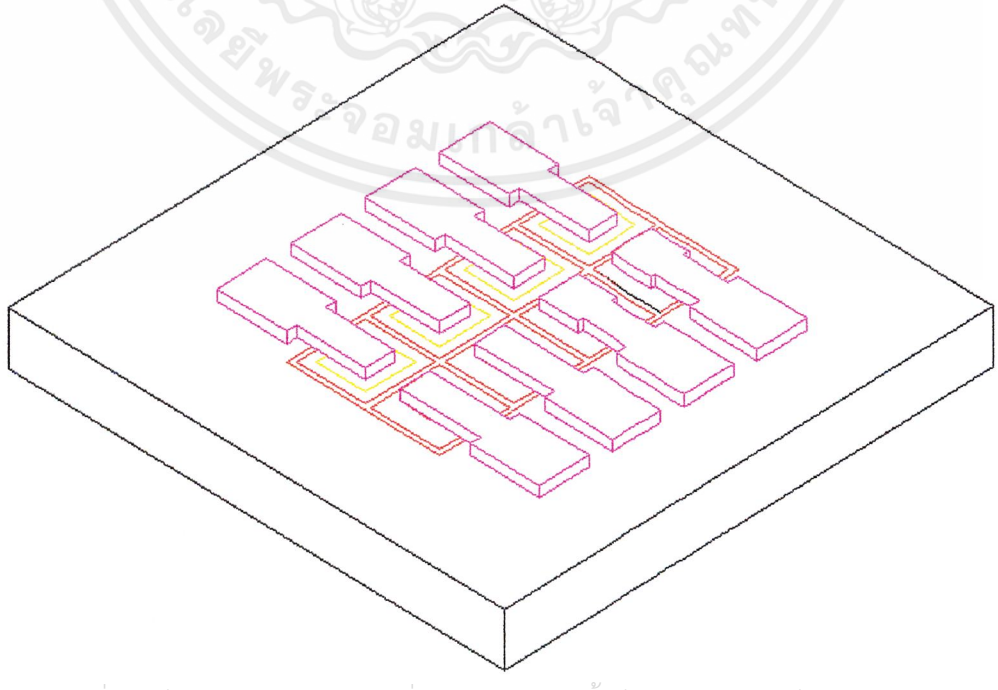
D02 แสดงภาพ 3D

D03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

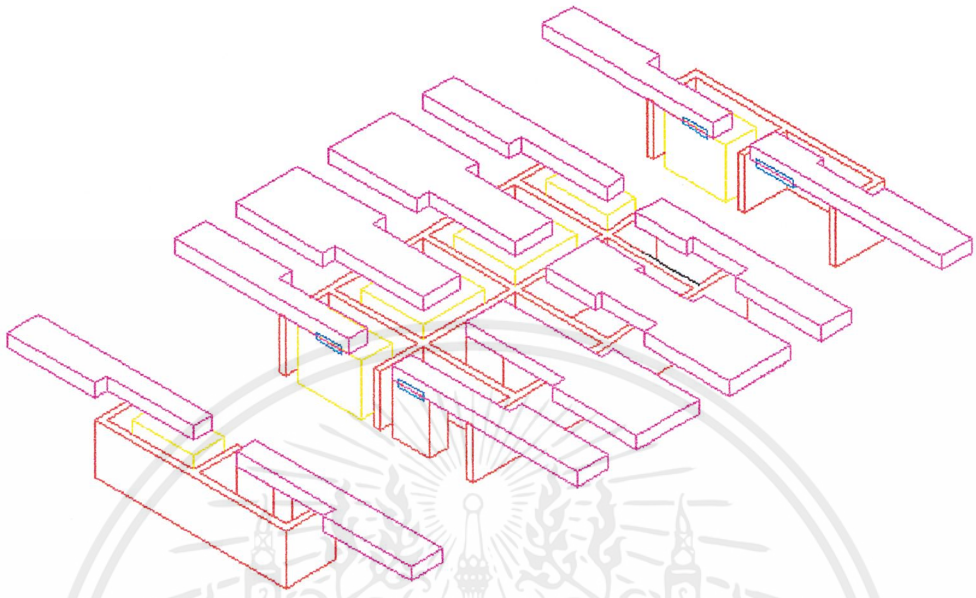


E01



E02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



E03

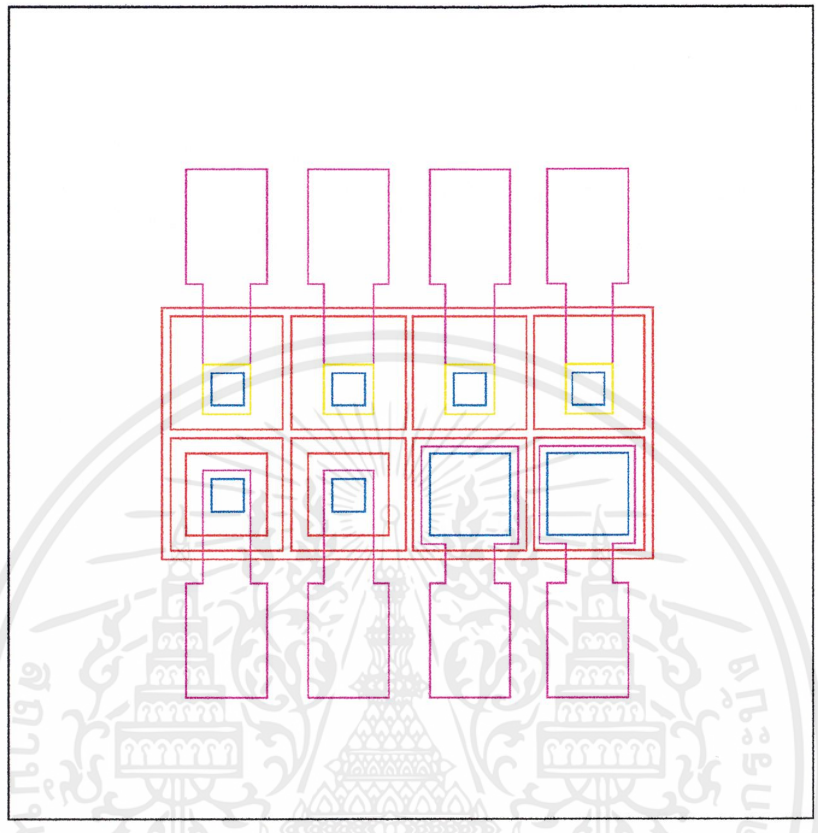
รูปที่ 3.52 แสดงโครงสร้าง E

E01 แสดง ภาพ Top view

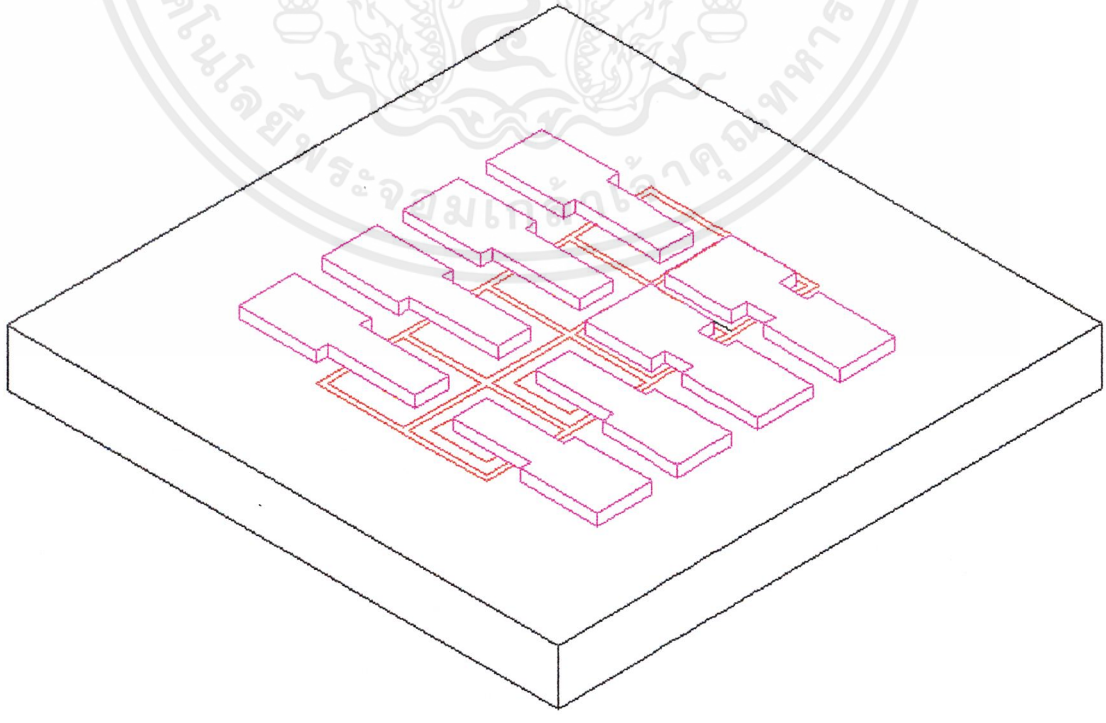
E02 แสดงภาพ 3D

E03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

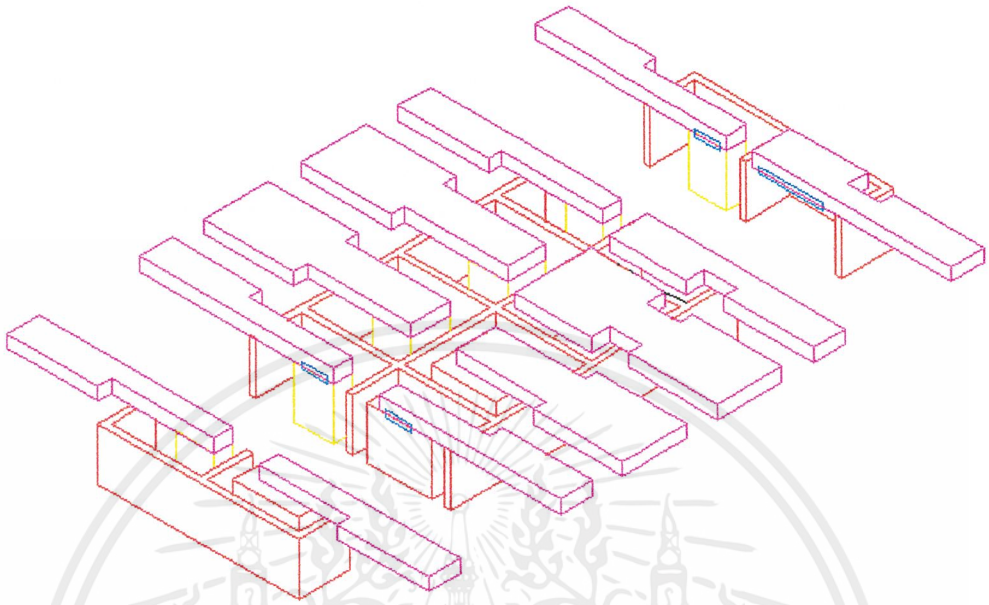


F01



F02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



F03

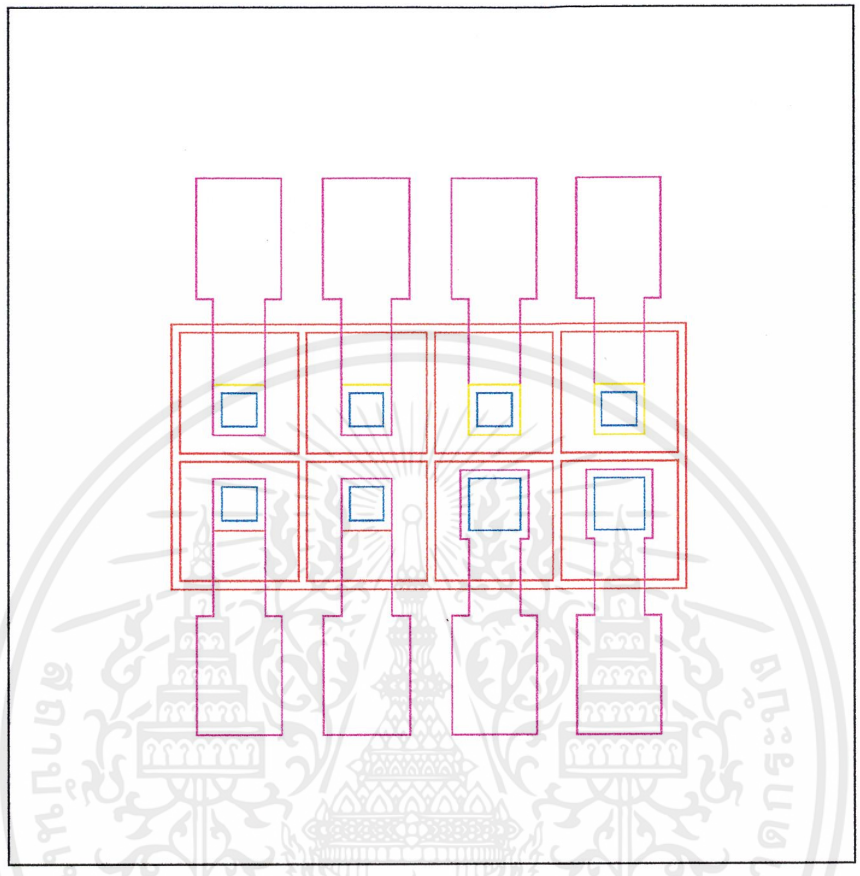
รูปที่ 3.53 แสดงโครงสร้าง F

F01 แสดง ภาพ Top view

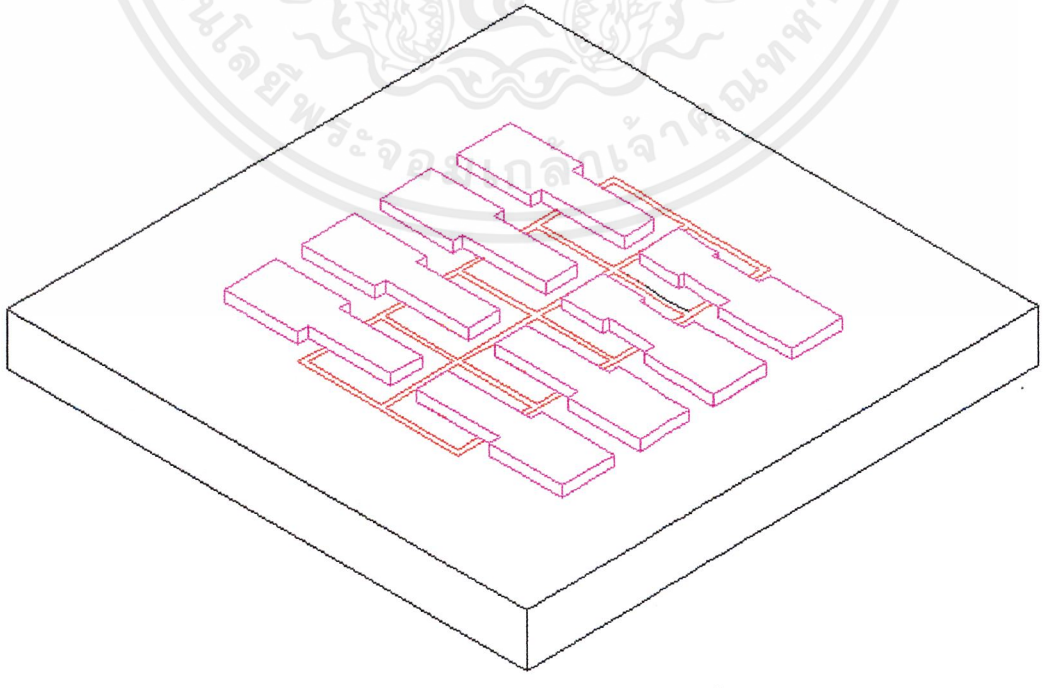
F02 แสดงภาพ 3D

F03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

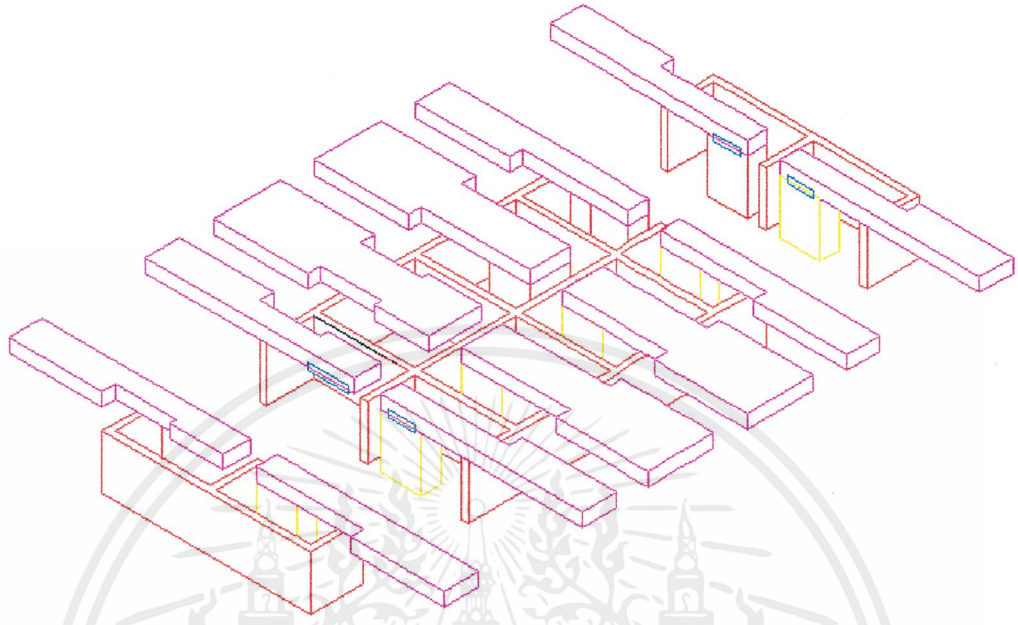


G01



G02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



G03

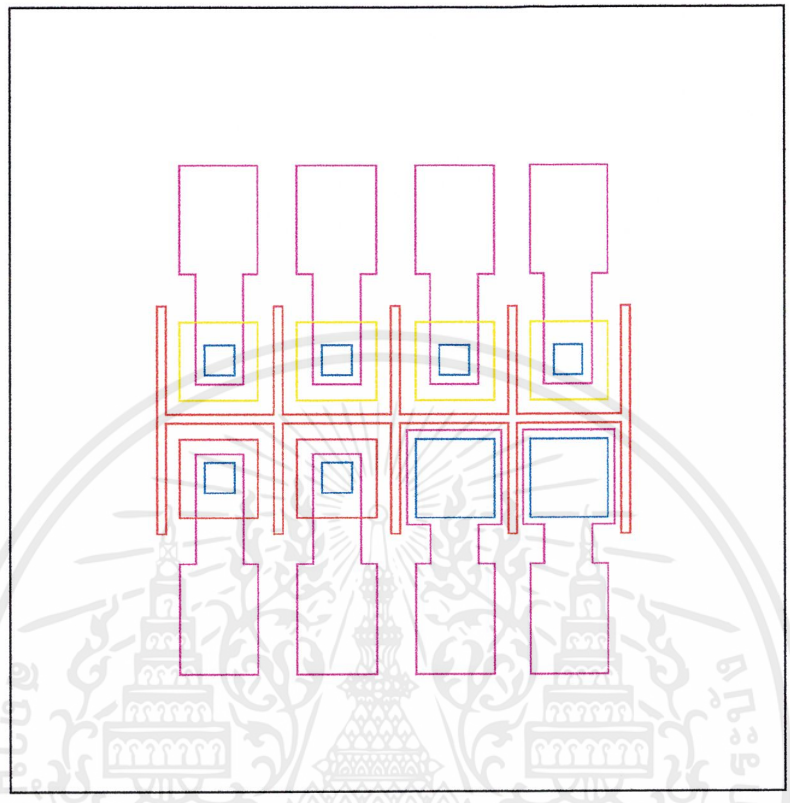
รูปที่ 3.54 แสดงโครงสร้าง G

G01 แสดง ภาพ Top view

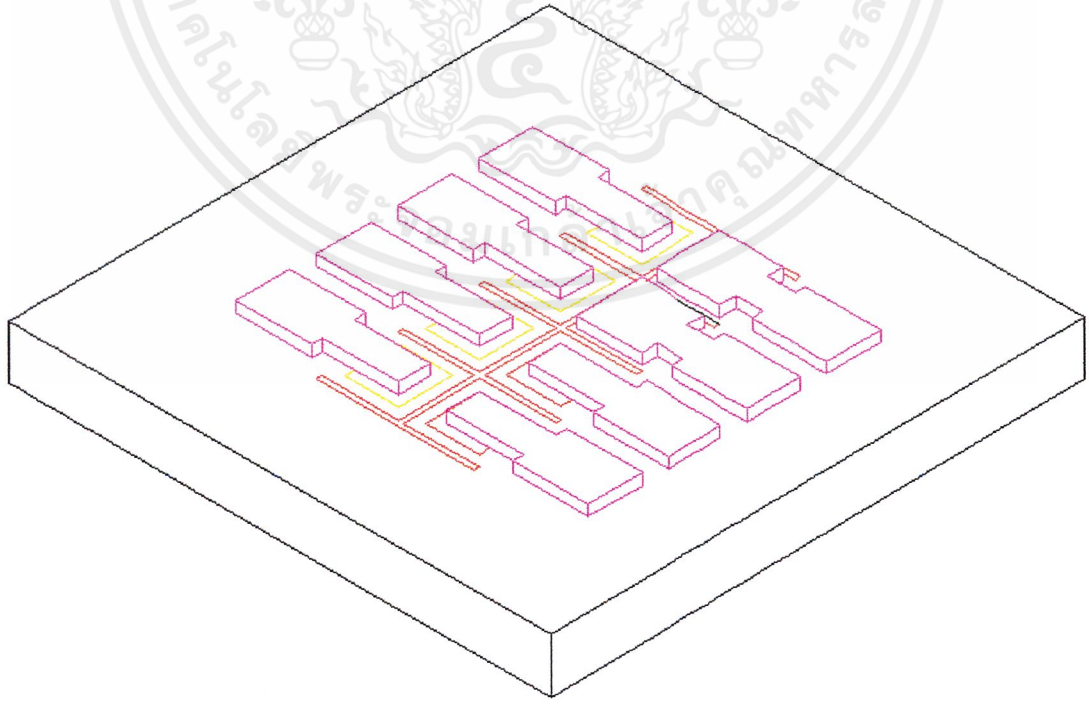
G02 แสดงภาพ 3D

G03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

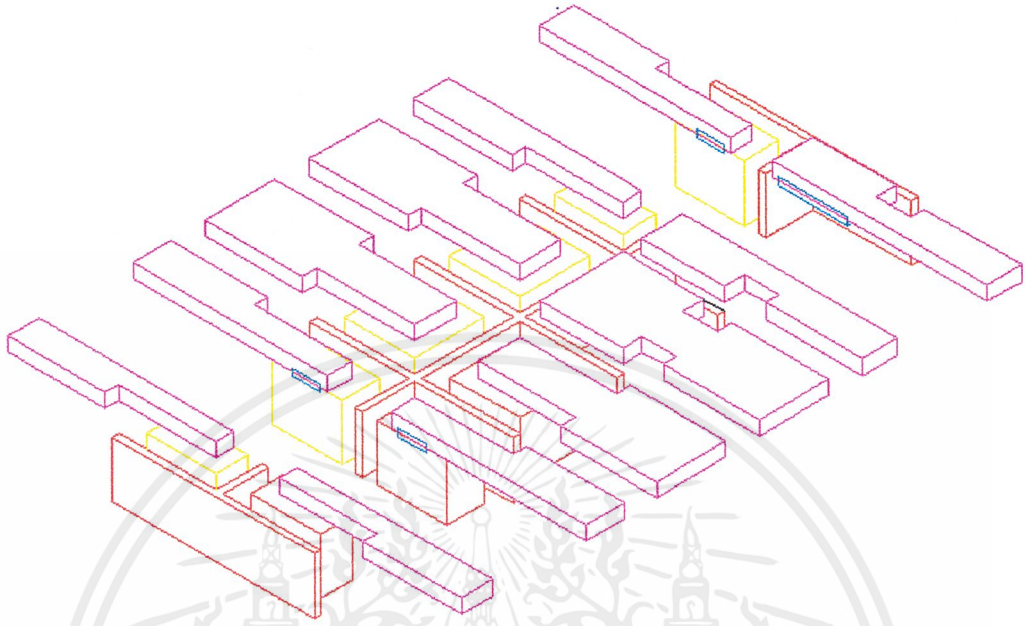


J01



J02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



J03

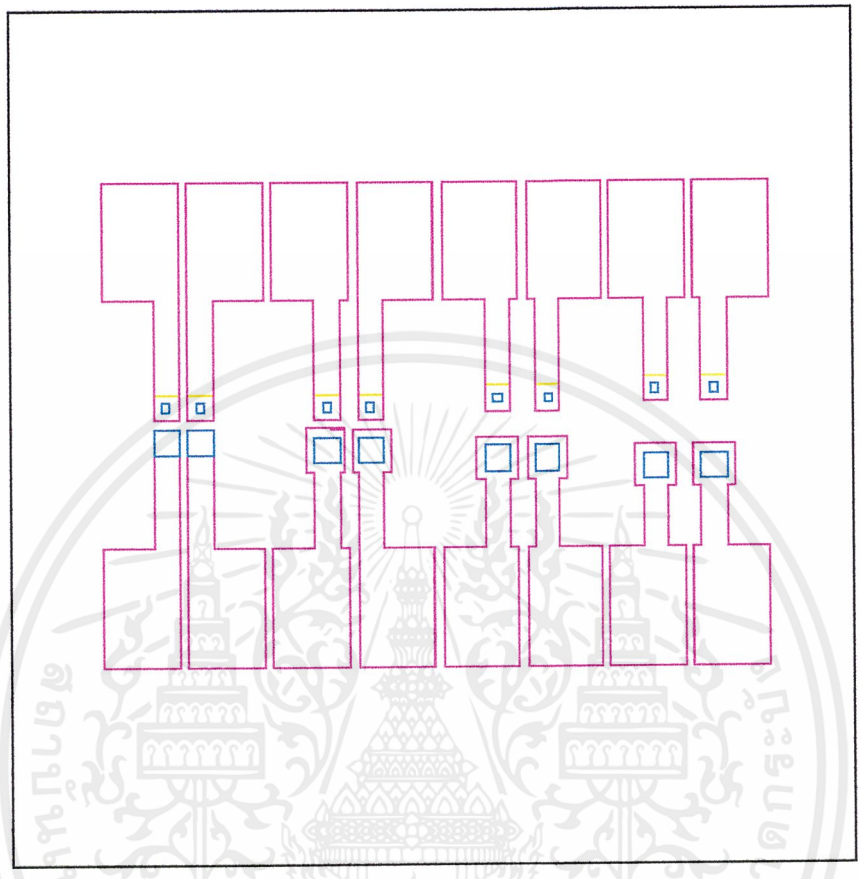
รูปที่ 3.55 แสดงโครงสร้าง J

J01 แสดง ภาพ Top view

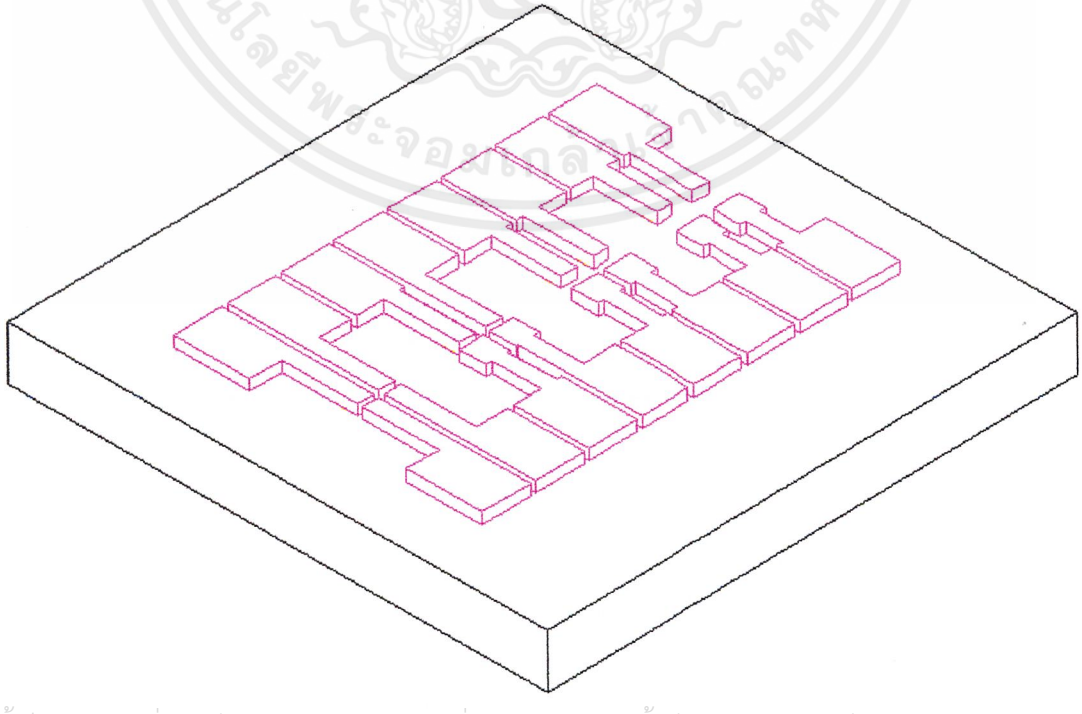
J02 แสดงภาพ 3D

J03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

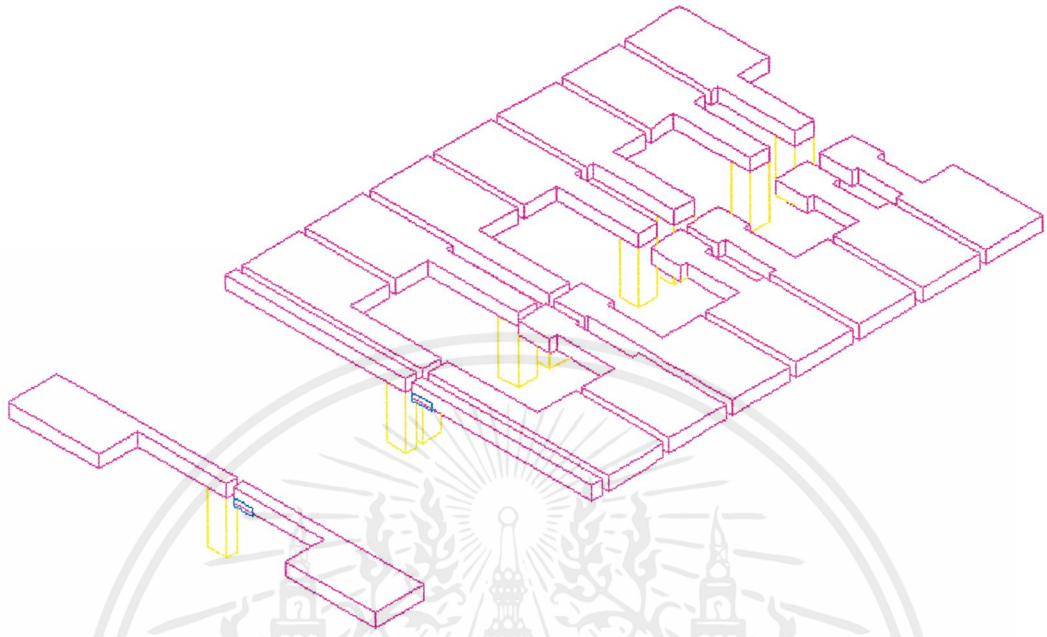


N01



N02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



N03

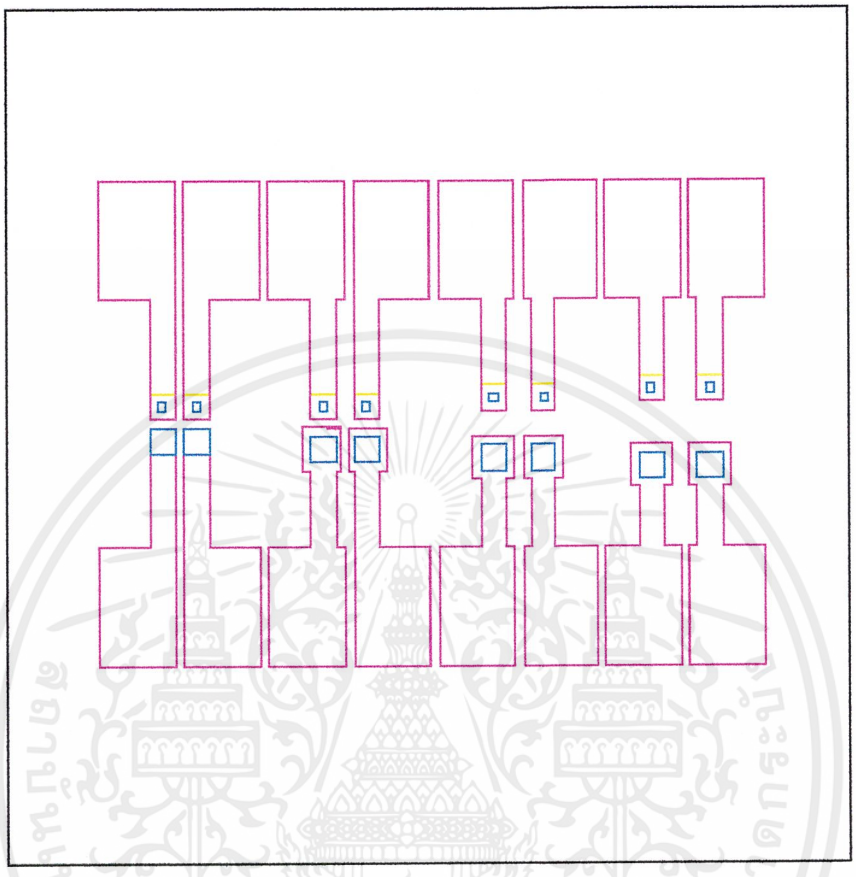
รูปที่ 3.56 แสดงโครงสร้าง N

N01 แสดง ภาพ Top view

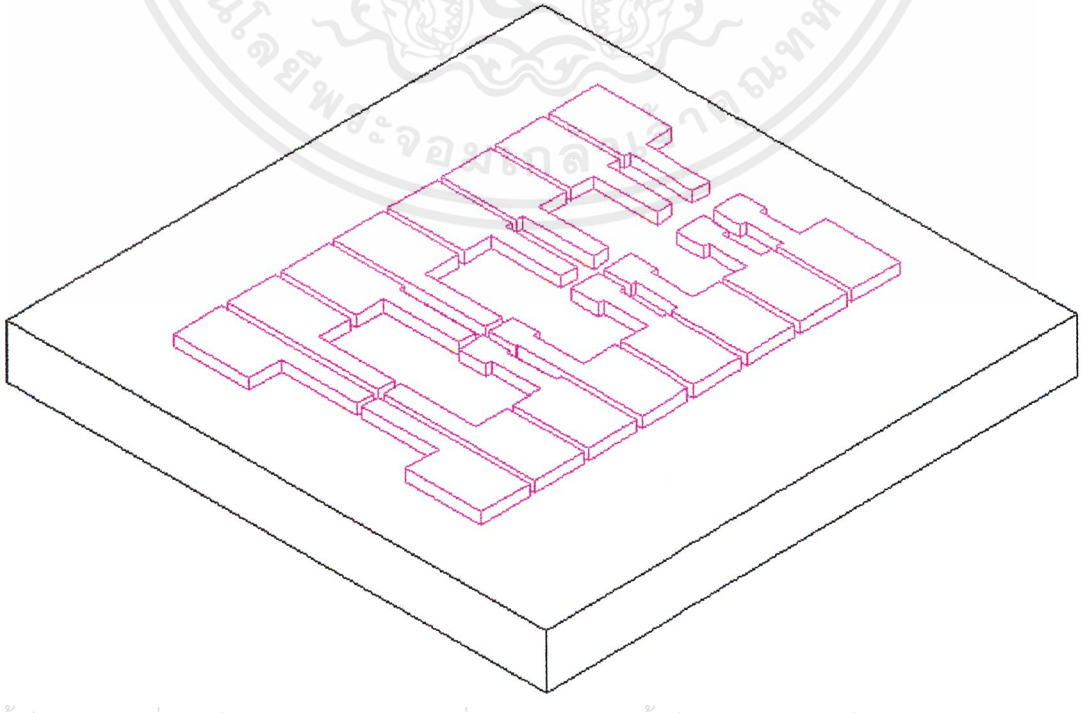
N02 แสดงภาพ 3D

N03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

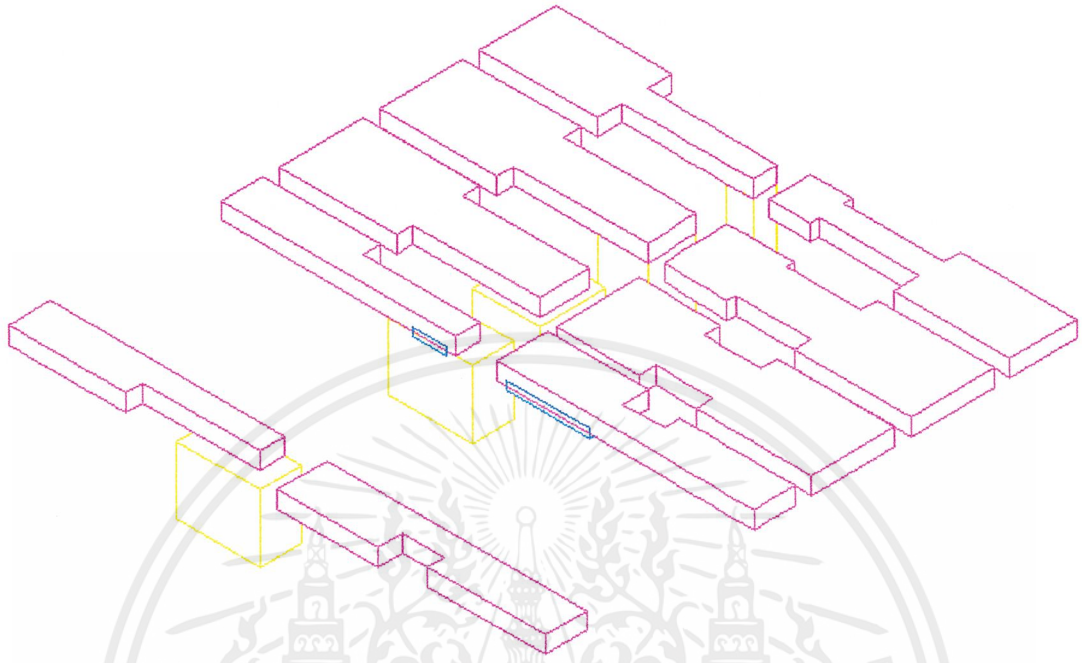


O01



O02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



O03

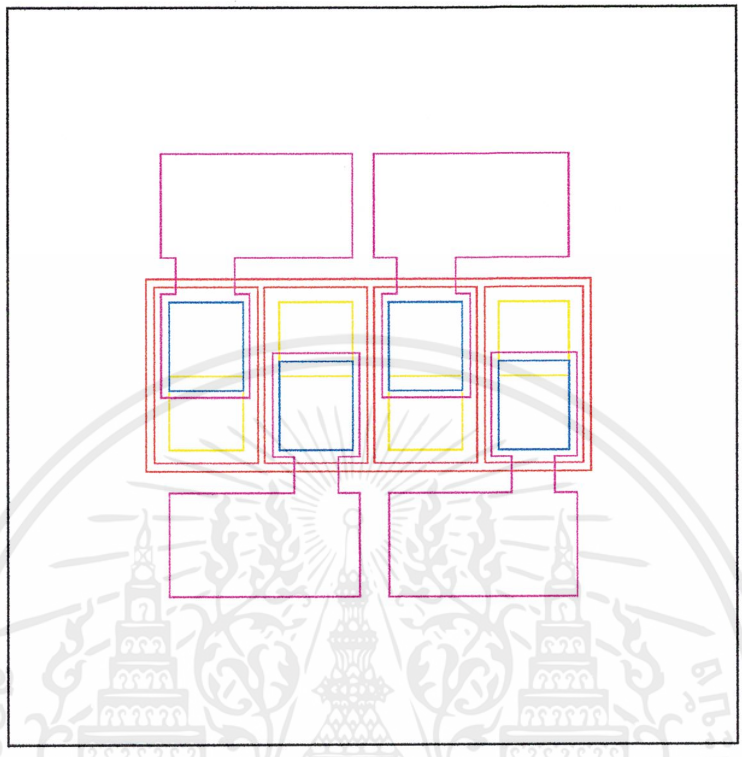
รูปที่ 3.57 แสดงโครงสร้าง O

O01 แสดง ภาพ Top view

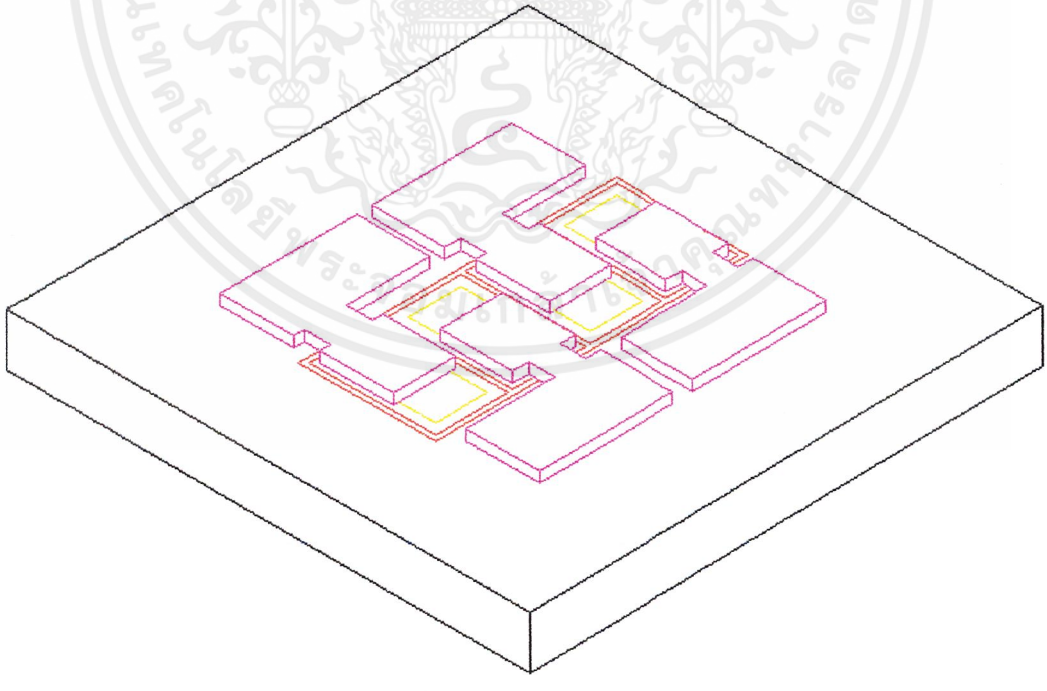
O02 แสดงภาพ 3D

O03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

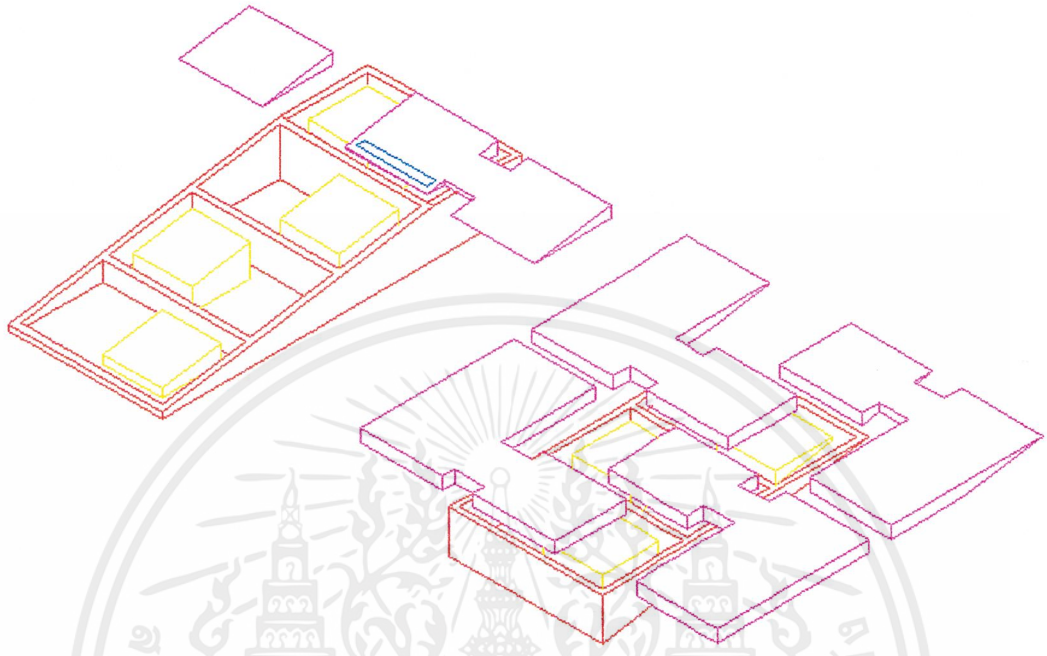


P01



P02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



P03

รูปที่ 3.58 แสดงโครงสร้าง P

P01 แสดง ภาพ Top view

P02 แสดงภาพ 3D

P03 แสดงภาพ Cross section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# กระบวนการสร้าง

หลังจากที่ได้ออกแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะต้องนำแบบที่ออกแบบไว้ไปทำการสร้าง โดยสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญๆได้ดังนี้

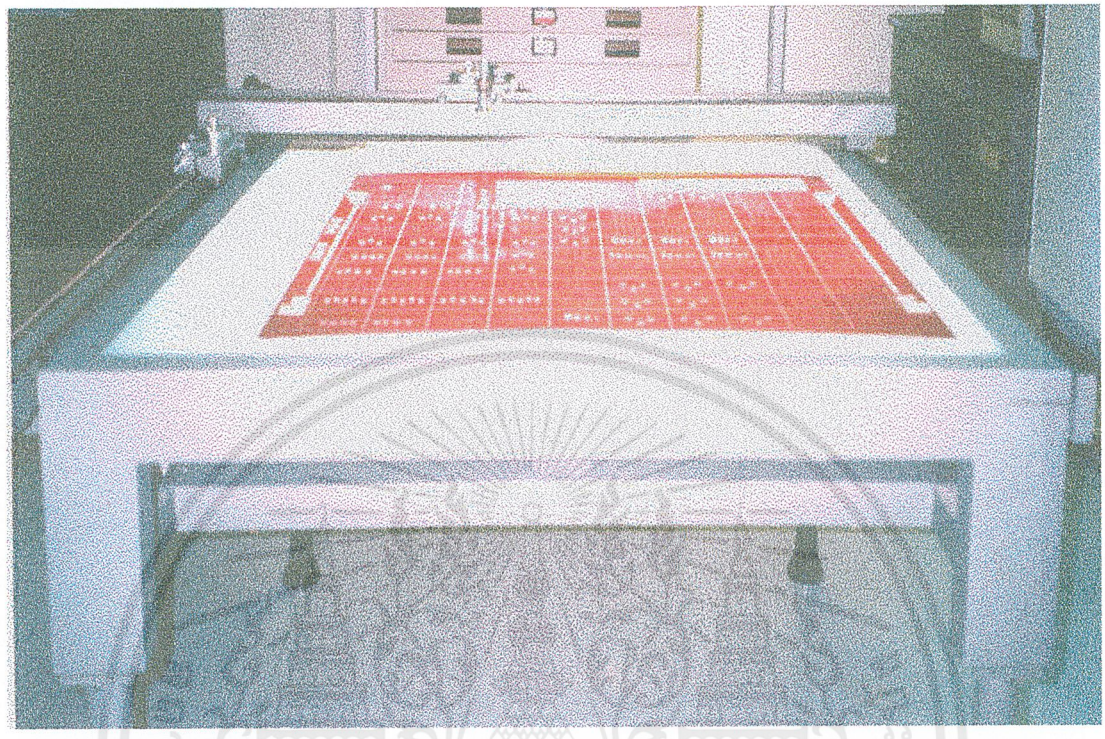
1. กระบวนการสร้างกระจกต้นแบบ
2. กระบวนการออกซิเดชั่น
3. กระบวนการโฟโตลิโธกราฟฟี
4. กระบวนการแพร่อะตอมสารเจือ
5. กระบวนการแพร่อะตอมทอง
6. กระบวนการสร้างขั้วโลหะ

## 4.1 กระบวนการสร้างกระจกต้นแบบ

**การสร้างภาพต้นแบบบนแผ่นกราฟ**

การทำจะเริ่มจากการเขียนแบบลงบน แผ่นกราฟซึ่งมีคุณสมบัติโปร่งแสงพอสมควร และต้องไม่ยืดหรือหด เพื่อให้สามารถเขียนเป็นภาพลวดลายได้สะดวก สาเหตุที่ใช้แผ่นกราฟก็ เพื่อการกำหนดระยะ และขนาดของลวดลายได้ถูกต้อง ภาพลวดลายต้นแบบซึ่งมีขนาดใหญ่นี้ จะถูกเขียนและ ถ่ายลงไปบนแผ่น “ไมล่าร์ลามิเนต” (Milarlaminate sheet) ซึ่งเป็นแผ่นพลาสติกใสและมีฟิล์มบาสีแดงประกบอยู่ การเขียนภาพ หรือสร้างภาพบนแผ่นไมล่าร์ลามิเนต ทำได้โดยการใช้ใบมีดตัดหรือกรีด ลงบนแผ่นไมล่าลามิเนตด้านสีแดง ตามลวดลายที่ออกแบบไว้ โดยให้ใบมีดตัดเฉพาะสีแดง ซึ่งจะทำบนโต๊ะตัดภาพมาตรฐานที่เรียกว่า “ไมโครคัดเตอร์” (Micro cutter) เครื่องดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายโต๊ะทั่วไป แต่มีพื้นกระจกและมีแสงไฟส่องขึ้นมาจากด้านล่างของโต๊ะ พื้นด้านบนของโต๊ะทำด้วยกระจกฝ้า และมีบรรทัดแกนเหล็กสองแกน คือ แกนแนวตั้ง Y แกนแนวนอน X แกนตั้งจะถูกยึดติดแน่นกับโต๊ะ ส่วนแกนแนวนอนจะวางตั้งฉากกับแกนแนวตั้ง และสามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดแนวแกนตั้ง แกนเลื่อนในแนวนอนนี้จะติดชุดใบมีด ซึ่งชุดใบมีดนี้สามารถเลื่อนระยะได้อย่างละเอียดโดยมีไมโครมิเตอร์แสดงไว้ เมื่อตัดเสร็จแล้วจึงลอกชั้นพลาสติกสีแดงออกตามรอยที่ตัดไว้ จะทำให้เกิดภาพลาดลายขึ้น บนแผ่นไมล่าร์ลามิเนตที่มีลวดลายนี้ ก็คือต้นแบบที่จะนำไปสร้างโฟโตมาส์ก ด้วยกระบวนการถ่ายภาพย่อส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องไมโครคัดเตอร์ (Micro cutter)

**การถ่ายภาพย่อส่วน**

โดยปกติ ภาพถ่ายลวดลายต้นแบบที่ปรากฏบนแผ่น ไมล่าร์ลามิเนตจะมีขนาดใหญ่กว่าความจริงหลายสิบเท่า ดังนั้นในการถ่ายภาพลวดลายลงบนฟิล์มกระจกเพื่อเป็นโฟโตมาส์ก (Photo mask) จึงต้องทำการย่อส่วนด้วยอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า กล้องย่อส่วน (Reduction Camera) การย่อส่วนก็เพื่อให้ได้ลวดลายขนาดจริงปรากฏบนฟิล์มกระจก เพื่อเป็นโฟโตมาส์กในบางกรณี อาจมีการย่อหลายๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ขนาดจริง ฟิล์มที่ใช้จะมีลักษณะคล้ายกับฟิล์มขาวดำ แต่จะมีความละเอียดสูง และจะต้องมีความคมเข้มที่สูงด้วย จึงเป็นฟิล์มกระจกที่ใช้ในงานสร้างโฟโตมาส์ก โดยเฉพาะ

**การล้างฟิล์มของกระจกต้นแบบ**

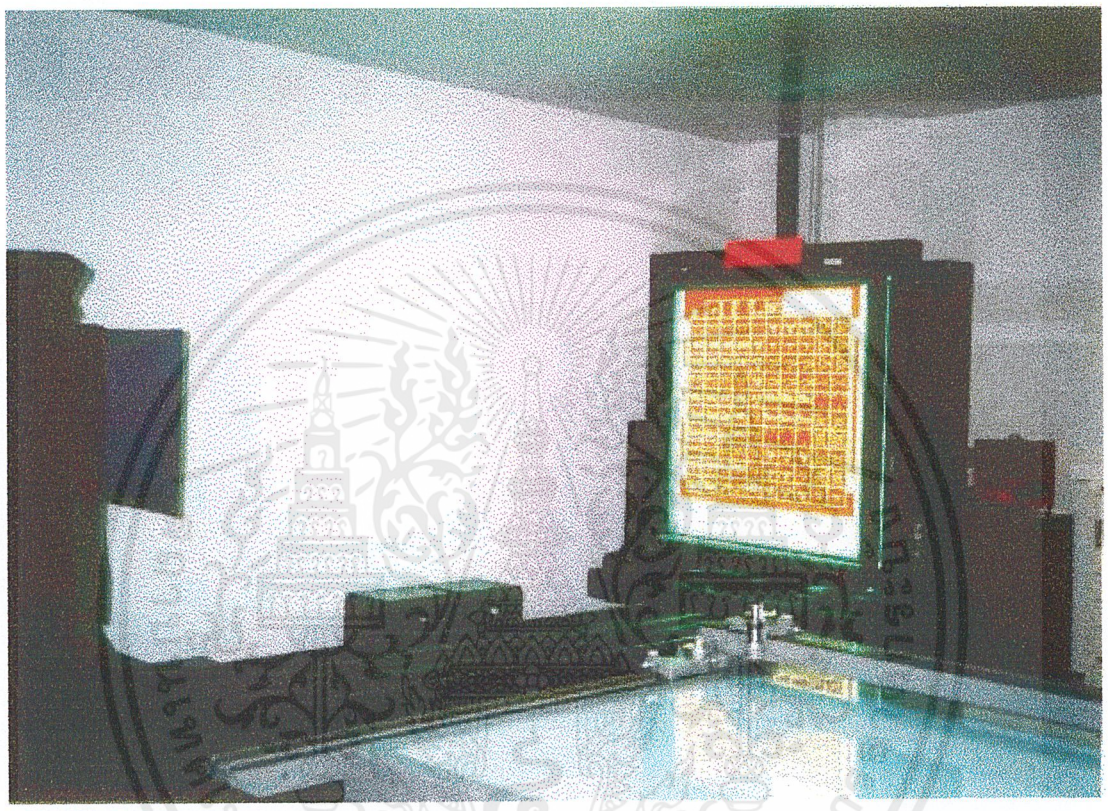
การล้างฟิล์มจะเป็นในกรณีที่ทำการสร้างนี้จะเป็นลักษณะของ ฟิล์มแบบ ลบ ซึ่งจะปรากฏลวดลายที่ต้องการเป็นสีดำ ในการล้างฟิล์มกระจกสามารถแบ่งขั้นตอนได้เป็นดังนี้

1. ล้างในน้ำยา Developer AB เป็นเวลา 3 นาที
2. ล้างในน้ำ DI เป็นเวลา 30 วินาที
3. ล้างในน้ำFixer เป็นเวลา 10 นาที

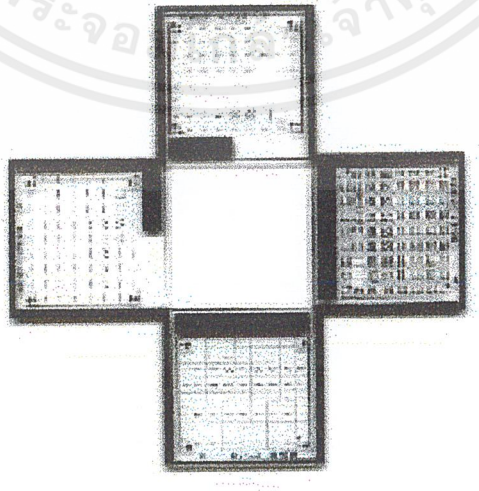
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ล้างในน้ำ DI เป็นเวลา 2 นาที และล้างแบบ ให้น้ำDI ไหลผ่าน

5. แช่ไว้ในน้ำ DI ไว้ประมาณ 30 min

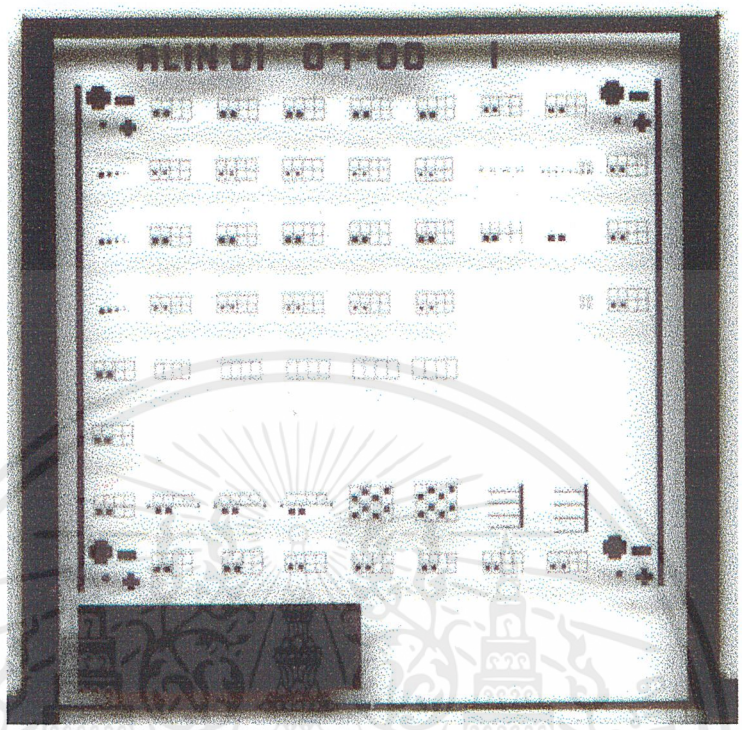


รูปที่ 3.3 แสดงกล้องย่อส่วน (Reduction Camera)

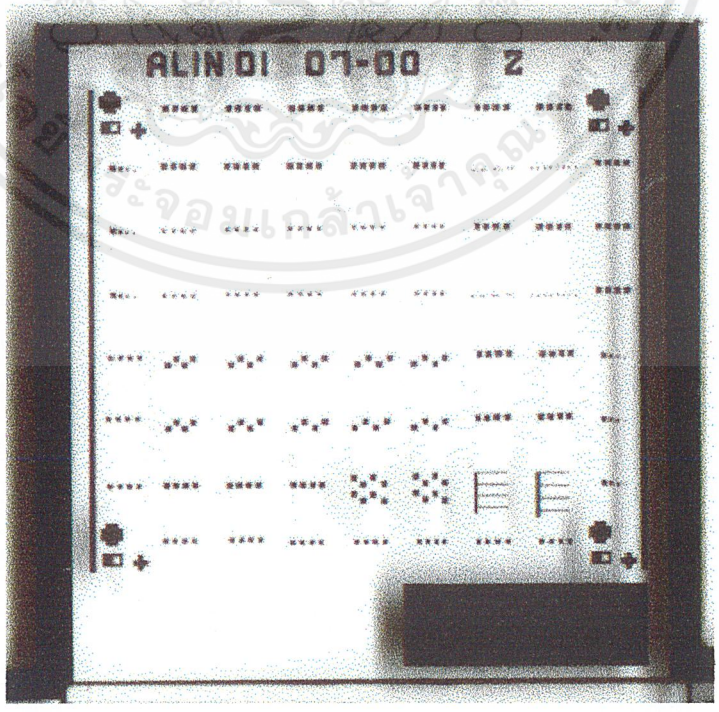


รูปที่ 3.4 แสดงภาพ Mask ทั้ง4 ที่ได้จากการถ่ายย่อส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

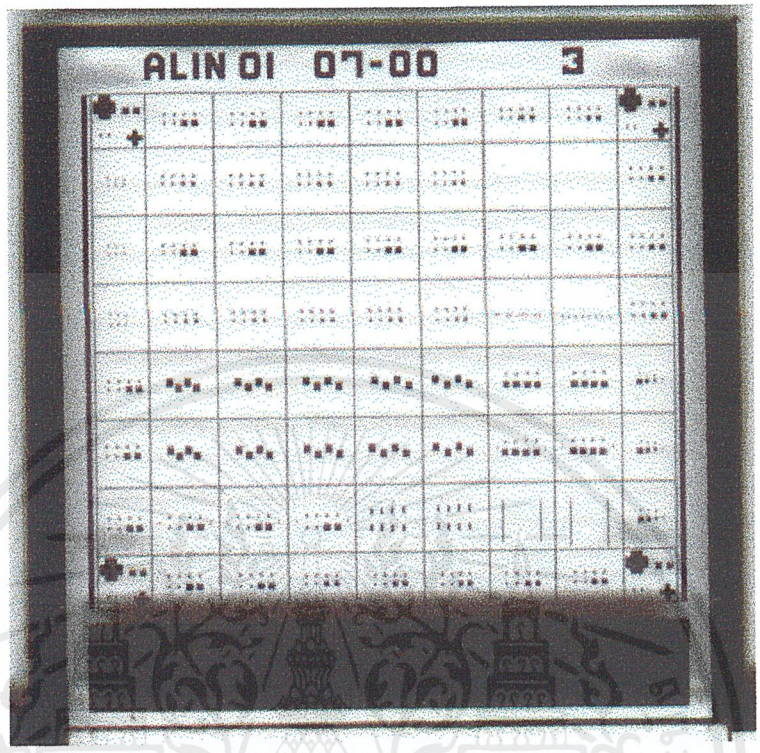



รูปที่ 3.5 แสดงภาพ Mask 1 ที่ได้จากการถ่ายย่อส่วน

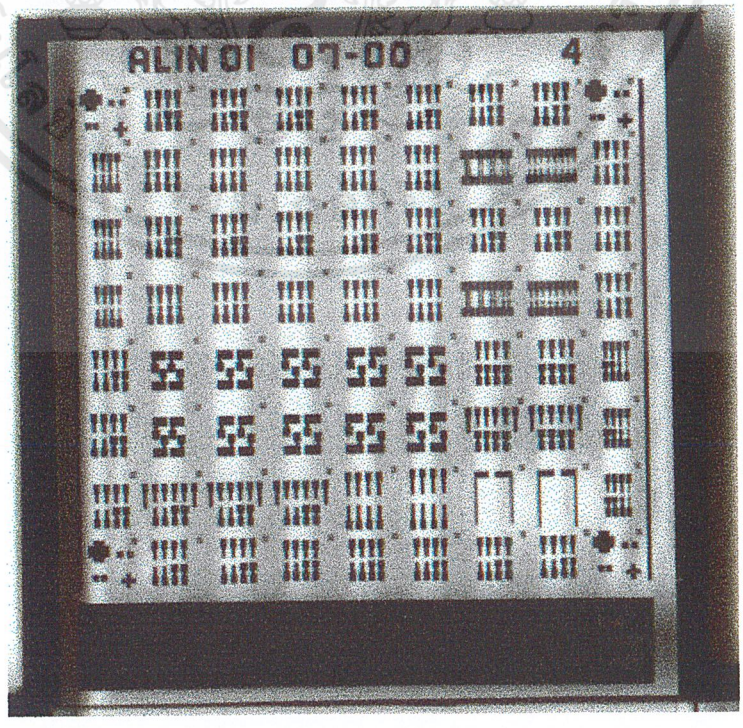



รูปที่ 3.6 แสดงภาพ Mask 2 ที่ได้จากการถ่ายย่อส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.7 แสดงภาพ Mask 3 ที่ได้จากการถ่ายย่อส่วน




รูปที่ 3.8 แสดงภาพ Mask 4 ที่ได้จากการถ่ายย่อส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2 กระบวนการออกซิเดชั่น**

การสร้างออกไซด์ในขั้นตอนนี้เพื่อเป็นส่วนป้องกันในการแพร่สารเจือโดยจะใช้การออกซิเดชั่น (Oxidation) โดยทำแบบ Dry : Wet : Dry = 3 : 1 : 2

กระบวนการนี้เป็นการสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ปกคลุมที่ผิวซิลิกอน($SiO_2$)ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนลักษณะโปร่งแสง ใช้ป้องกันการแพร่ของสารเจือไม่ให้เข้าไปในส่วนที่ไม่ต้องการ ชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์นี้สามารถสร้างได้ด้วยกระบวนการออกซิเดชั่นด้วยความร้อน (Thermal oxidation) โดยการทิ้งให้แผ่นผลึกซิลิกอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแห้งหรือไอน้ำ ในบรรยากาศซึ่งมีอุณหภูมิสูง กระบวนการออกซิเดชั่นแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1.กระบวนการออกซิเดชั่นแบบแห้ง(Dry Oxidation) ด้วย $O_2$ 1200 cc/min ใช้อุณหภูมิเตา 1100 $^{\circ}C$ เป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของแผ่นซิลิกอน และอะตอมของก๊าซออกซิเจนแห้ง ที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้อะตอมของซิลิกอนรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์มีปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

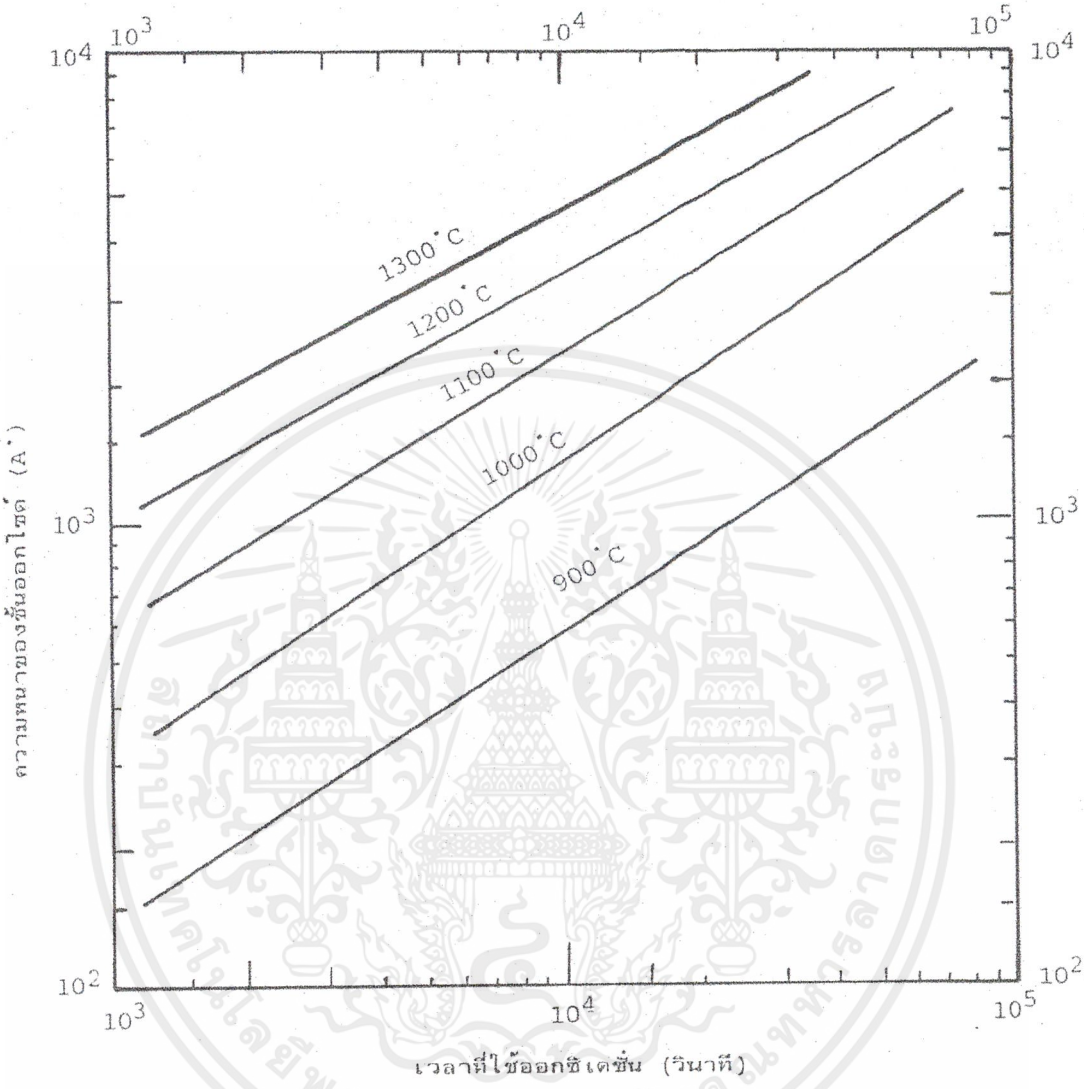
$$Si\ (\text{ของแข็ง}) + O_2(\text{แห้ง}) \xrightarrow{\text{อุณหภูมิ } 1100\ ^{\circ}C} SiO_2\ (\text{ของแข็ง})$$

2.กระบวนการออกซิเดชั่นแบบชื้น(Wet Oxidation) ) ด้วย $O_2$ 1000 cc/min ใช้อุณหภูมิเตา 1100 $^{\circ}C$ เป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของแผ่นซิลิกอน และอะตอมของก๊าซออกซิเจนในไอน้ำ มีปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

$$Si\ (\text{ของแข็ง}) + 2H_2O\ (\text{ไอน้ำ}) \xrightarrow{\text{อุณหภูมิ } 1100\ ^{\circ}C} SiO_2\ (\text{ของแข็ง}) + 2H_2$$

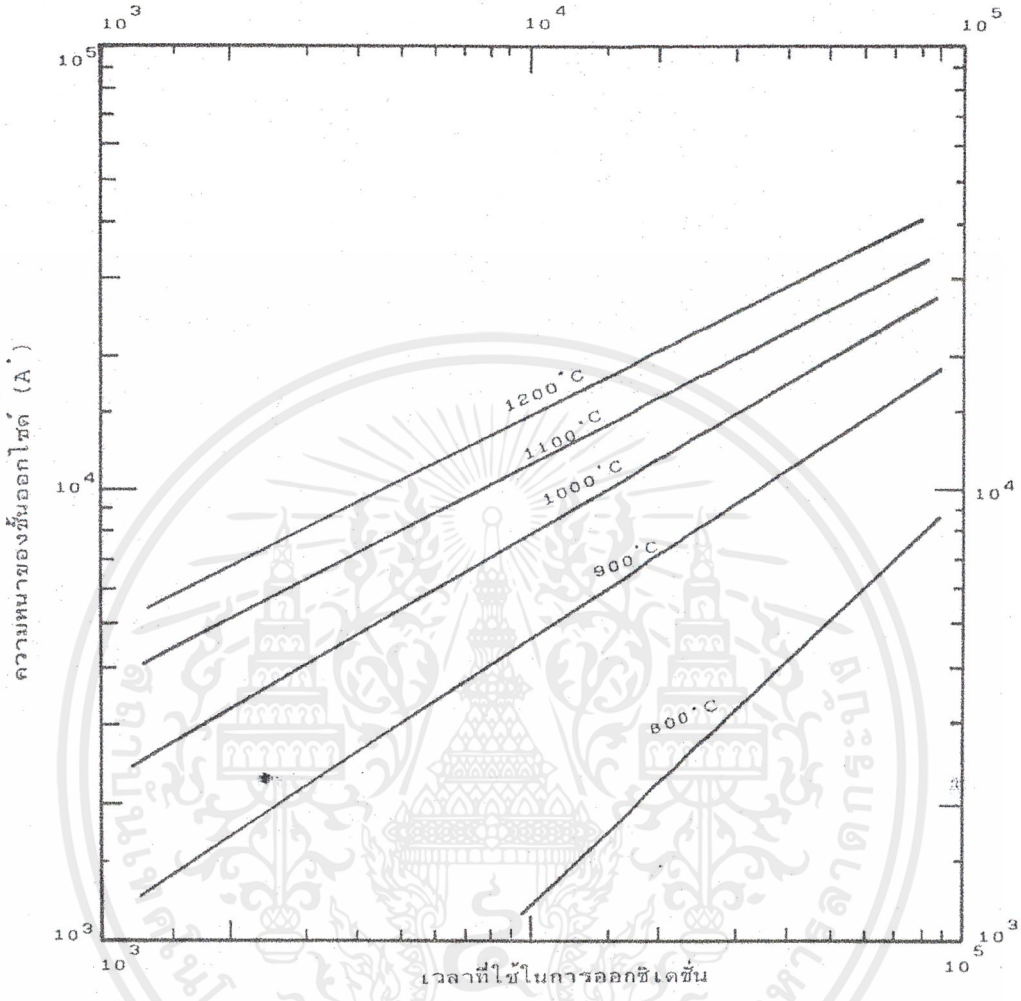
การออกซิเดชั่นแบบแห้งจะให้ชั้นออกไซด์ที่เรียบแน่น ป้องกันการแพร่ของสารเจือได้เป็นอย่างดี แต่ใช้เวลาในการเกิดออกไซด์ให้ได้ความหนาที่ต้องการเป็นเวลานานกว่าการออกซิเดชั่นแบบชื้น แต่การออกซิเดชั่นแบบชื้นแม้จะใช้เวลาในการสร้างชั้นออกไซด์ที่น้อยกว่าแต่คุณภาพของออกไซด์ที่ได้จะเนื้อไม่แน่นและมีรูพรุนมากกว่าแบบแห้ง ดังนั้นบ่อยครั้งในกระบวนการสร้างเราจะใช้การออกซิเดชั่นทั้งสองแบบควบคู่กันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของ $Sio_2$ บนแผ่นซิลิกอน ต่อเวลาและอุณหภูมิสำหรับการออกซิเดชั่นแบบแห้ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของ $Sio_2$ บนแผ่นซิลิกอน ต่อเวลาและอุณหภูมิสำหรับการออกซิเดชั่นแบบชื้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ความหนา ( $^{\circ}$A ) | สี |
|---|---|
| 500 | สีน้ำตาลอ่อน |
| 700 | สีน้ำตาล |
| 1000 | สีม่วงเข้มถึงสีแดงม่วง |
| 1200 | สีฟ้า |
| 1500 | สีน้ำเงินอ่อนถึงสีเทาน้ำเงิน |
| 1700 | สีน้ำเงินถึงสีเหลือง-เขียวอ่อน |
| 2000 | สีทองค่อนข้างเหลืองแกมส้ม |
| 2500 | สีส้มถึงสีเขียว |
| 2700 | สีแดงม่วง |
| 3000 | สีน้ำเงินถึงสีม่วงน้ำเงิน |
| 3100 | สีน้ำเงิน |
| 3200 | สีน้ำเงินถึงสีน้ำเงินเขียว |
| 3400 | สีเขียวอ่อน |
| 3500 | สีเขียวถึงสีเหลืองเขียว |
| 3600 | สีเหลืองเขียว |
| 3700 | สีเขียวเหลือง |
| 3900 | สีเหลือง |
| 4100 | สีส้มอ่อน |
| 4200 | สีชมพูอ่อน |
| 4400 | สีม่วงแดง |
| 4600 | สีแดงม่วง |
| 4700 | สีม่วง |
| 4800 | สีน้ำเงินม่วง |
| 4900 | สีน้ำเงิน |
| 5000 | สีน้ำเงินเขียว |
| 5200 | สีเขียว |
| 5400 | สีเหลืองเขียว |
| 5600 | สีเขียวเหลือง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

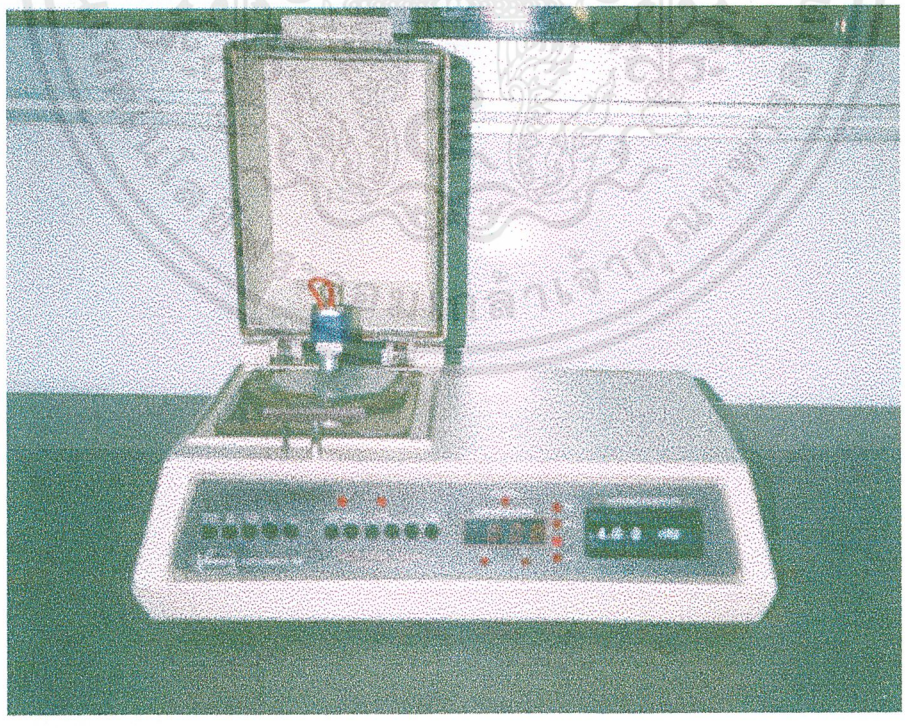
| ความหนา ( $^{\circ}$A ) | สี |
|---|---|
| 5700 | สีเหลืองถึงสีเทาอ่อน |
| 5800 | สีส้มอ่อนหรือเหลืองถึงสีชมพู |
| 6000 | สีชมพูอ่อน |
| 6300 | สีม่วงแดง |
| 6800 | สีคล้ายเทา |
| 7200 | สีน้ำเงินเขียวถึงสีเขียว |
| 7700 | สีเหลืองอ่อน |
| 8000 | สีส้ม |
| 8200 | สีชมพู |
| 8500 | สีแดงม่วงอ่อน |
| 8600 | สีม่วง |
| 8700 | สีน้ำเงินม่วง |
| 8900 | สีน้ำเงิน |
| 9200 | สีน้ำเงินเขียว |
| 9500 | สีเหลืองเขียว |
| 9700 | สีเหลืองถึงเหลืองอ่อน |
| 9900 | สีส้ม |
| 10000 | สีชมพูอ่อน |
| 10200 | สีม่วงแดง |
| 10500 | สีแดงม่วง |
| 10600 | สีม่วง |
| 10700 | สีน้ำเงินม่วง |
| 11000 | สีเขียว |

ตารางที่ 3.12 สำหรับเปรียบเทียบสีกับความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

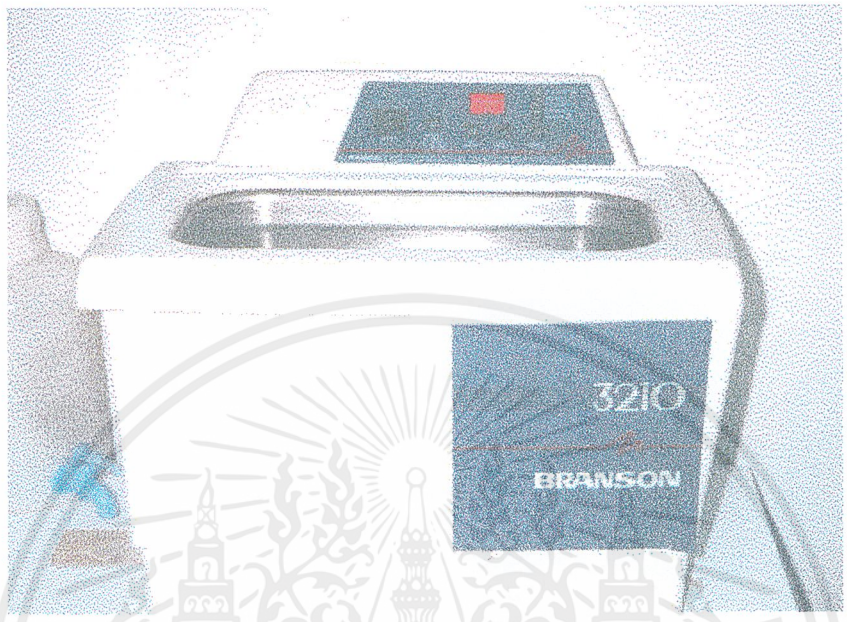


รูปที่ 3.13 เครื่องผลิตน้ำ DI



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

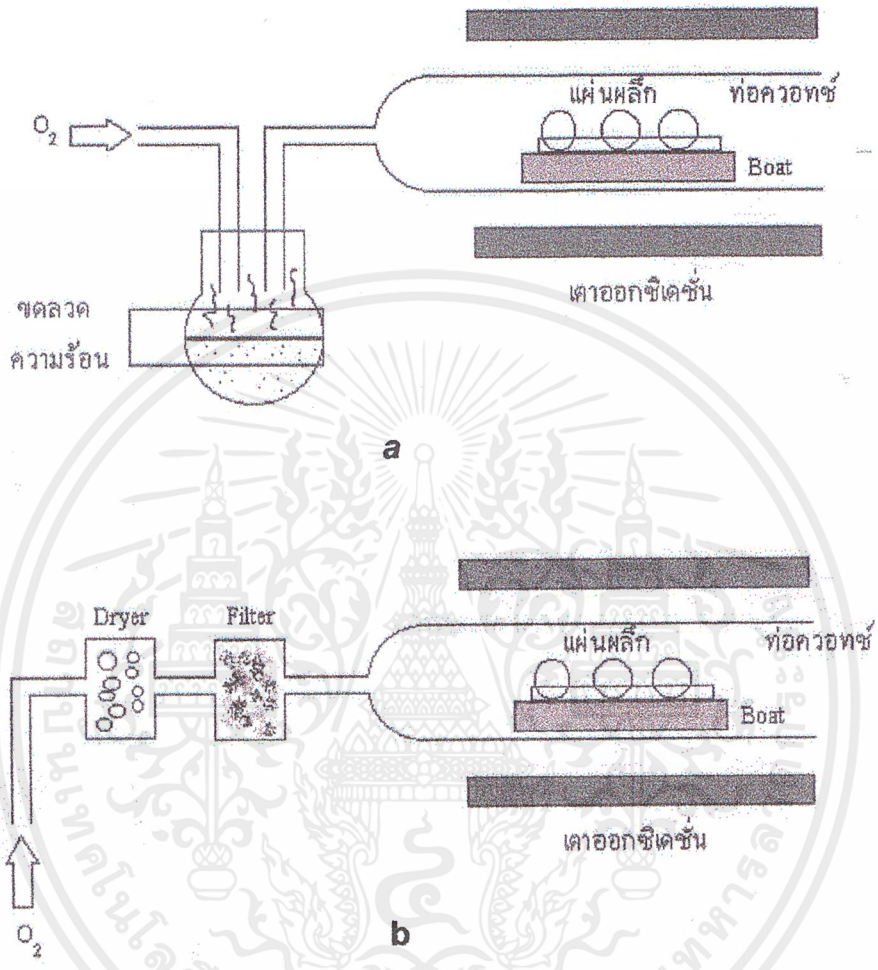



รูปที่ 3.15 เครื่องสั้นความถี่สูง Supersonic Cleaner



รูปที่ 3.16 เตาออกซิเดชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.17 แสดงภาพจำลองการทำออกซิเดชั่นทั้ง
a) แบบ ชื้น Wet
b) แบบแห้ง Dry

### 4.3 กระบวนการ โฟโตลิโทรกราฟฟี่ Photolithography

กระบวนการโฟโตลิโทรกราฟฟี่(Photolithography) เป็นกระบวนการเปิดช่องของซิลิกอนไดออกไซด์ สำหรับแพร่อะตอมสารเจือในขอบเขตที่กำหนดให้จากกระจกต้นแบบ หลักการจะเคลือบผิวของซิลิกอนไดออกไซด์ด้วยน้ำยาไวแสงซึ่งมีทั้งชนิดบวก (Positive) และชนิดลบ (Negative) อบน้ำยาไวแสงจนแห้ง นำเอากระจกต้นแบบมาประกบด้านบนให้สนิทจากนั้นทำการฉายแสงด้วยความเข้มแสงและเวลาที่พอเหมาะ นำเอาแผ่นซิลิกอนที่เคลือบน้ำยาและถูกฉายแสงแล้วมาทำการล้างน้ำยาไวแสง ก็จะได้แผ่นซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีน้ำยาไวแสงเป็นลวดลายตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจกต้นแบบ จากนั้นนำไปกัดซิลิกอนไดออกไซด์ออก และลอกน้ำยาไวแสงออกเราจะได้แผ่นซิลิกอนที่มีซิลิกอนไดออกไซด์ถูกเปิดเป็นช่องตามลวดลายกระจกต้นแบบ เพื่อเตรียมนำไปแพร่สารเจือต่อไป สารไวต่อแสงได้แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. สารไวต่อแสงแบบลบ (Negative photo resist) สารไวต่อแสงชนิดนี้ เมื่อถูกแสงจะเกาะติดกับผิวของผลึกแน่น ไม่ยอมละลายในน้ำยาล้าง (developer)
2. สารไวต่อแสงแบบบวก (Positive photo resist) สารไวต่อแสงชนิดนี้ เมื่อถูกแสงจะไม่เกาะติดกับผิวของผลึกแน่น และจะละลายในน้ำยาล้าง (developer)

**4.4 การแพร่สารเจือ**

กระบวนการแพร่สารเจือเป็นกระบวนการแพร่สารลงไปในแผ่นฐานรองให้เกิดสารชนิดพีและเอ็นตามต้องการในกระบวนการสร้างเราใช้โบรอนเป็นแหล่งสารเจือในการสร้างสารเจือในการสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดพี และใช้ฟอสฟอรัสในการสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ในกระบวนการแพร่สารเจือแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ predeposition และ การขับลึก ( drive in )

**4.4.1 Pre-deposition**

Pre-deposition เป็นการแพร่สารเจือขั้นต้น เพื่อกำหนดปริมาณอะตอมของสารเจือที่จะเข้าไปในแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำในระหว่างการแพร่ขั้น predeposition แผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำจะถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิสูงตามที่กำหนดภายในเตาแพร่สารเจือ ซึ่งอยู่ในบรรยากาศของอะตอมสารเจือ อะตอมสารเจือจะแพร่เข้าไปในผลึกซิลิกอนได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าโซลูบิลิตี้(Solid Solubility) ซึ่งมีจำกัดที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ค่า Solid Solubility ของสารเจือชนิดหนึ่งในซิลิกอนที่อุณหภูมิค่าหนึ่งคือปริมาณของสารเจือที่มากที่สุดที่จะแพร่เข้าไปในซิลิกอนที่อุณหภูมิค่านั้นๆได้ ดังนั้นที่อุณหภูมิค่าหนึ่งที่ผลึกถูกทำให้ร้อนเราสามารถบอกค่าความหนาแน่นของอะตอมสารเจือที่บริเวณของผลึกซิลิกอนได้

ในกระบวนการสร้างนี้บริเวณใดของแผ่นผลึกซิลิกอนที่ไม่ต้องการให้อะตอมสารเจือแพร่เข้าไปก็จะถูกชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งมีความหนาพอเหมาะปิดอยู่เพื่อทำหน้าที่เป็นหน้ากากป้องกันการแพร่ของสารเจือไม่ให้เข้าถึงผลึกซิลิกอนได้

**4.4.2 Drive-in**

การแพร่ในขั้นนี้เป็นการแพร่ซึ่งกระทำต่อเนื่องจากขั้น Predeposition เพื่อทำให้อะตอมของสารเจือแพร่ลึกเข้าไปในผลึกซิลิกอนการกำหนดช่วงของการขับลึกและอุณหภูมิจะทำให้สามารถกำหนดค่าต่อไปนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความลึกของรอยต่อขั้นสุดท้าย
- การกระจายของอะตอมของสารเจือในผลึกซิลิกอนอย่างถูกต้อง

ในช่วงเวลาการขับลึกที่เท่ากัน อุณหภูมิเดียวกันความลึกของรอยต่อของอะตอมสารเจือแต่ละชนิดในผลึกซิลิกอนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ ( Diffusion coefficient ) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

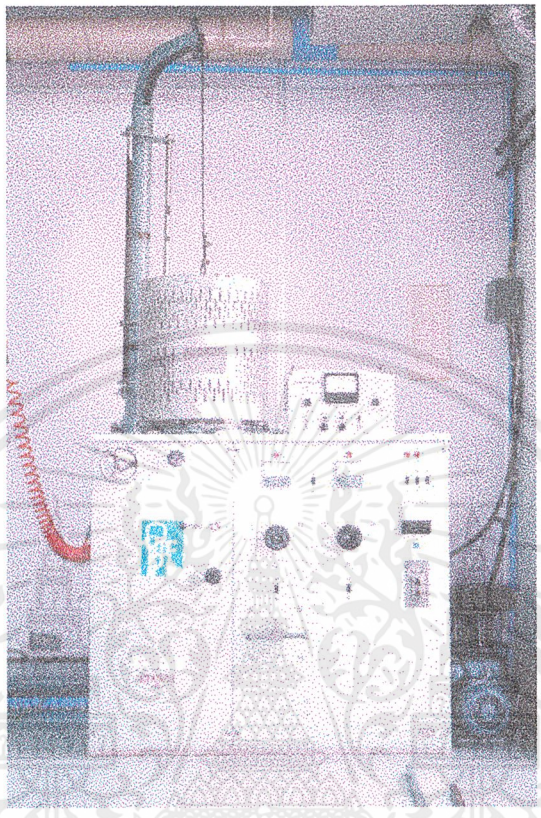
**4.5 การแพร่ของอะตอมทองบริสุทธิ์เพื่อสร้างส่วน I**

การแพร่อะตอมของทองคำจะกระทำด้านหลังของแผ่นซิลิกอนเนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ของทองมีค่าสูงการควบคุมค่า Solid solubility จึงต้องควบคุมด้วยอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องทำการแพร่ (diffuse) ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และเนื่องจากอะตอมของทองจะเกาะเกี่ยวกับอะตอมของซิลิกอนโดยการแทรกตัวไปอยู่ระหว่างอะตอมมิได้เข้าไปอยู่ในโควาเลนซ์บอนด์ดังนั้นภายหลังจากการแพร่ต้องทำการ quenching ซึ่งก็คือการดึงแผ่นซิลิกอนที่เคลือบด้านหลังด้วยทองคำออกมาอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้นแล้วอะตอมของแผ่นทองคำจะเข้าไปแทรกตัวกับแผ่นทองคำได้น้อยกล่าวคือจะยังคงอยู่ที่ด้านหลังของแผ่นผลึก

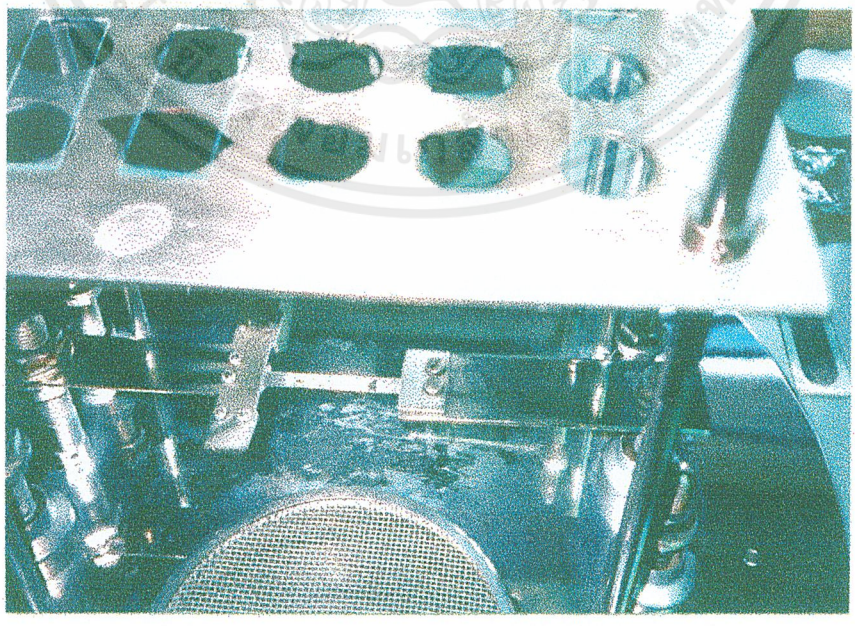
**4.6 ขบวนการสร้างขั้ว ( Metallization )**

กระบวนการเมทัลไลเซชั่นเป็นกระบวนการสร้างลวดลายโลหะเพื่อใช้เป็นตัวต่อกับตัวเก็บประจุ โดยการนำเอาอะลูมิเนียมมาเคลือบลงบนผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนเป็นแผ่นฟิล์มบางหนาประมาณ 1$\mu$m โดยทำการเคลือบในสูญญากาศ ( vacuum evaporation) หลังจากนั้นนำไปกัดลวดลายตามที่ต้องการที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้กระบวนการ Photolithography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 เครื่องเคลือบในสูญญากาศ



รูปที่ 3.16 แสดงภาพฐาน (Boat) และภายในเครื่องเคลือบในสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ขั้นตอนการสร้าง ALIN

(1) แผ่นผลึกซิลิกอนเริ่มต้น (Initial water)

- Single Crytals wafer Type N
- แผ่นซิลิกอนชนิดเอ็นระนาบ Orientation (111)
- ค่าพิกัดความต้านทาน ( Resistivity ) 120-150 $\Omega$-cm.
- ขนาดความหนา (Thickness ) ของแผ่นผลึกประมาณ 400 $\mu$m
- ขนาดความเส้นผ่านศูนย์กลาง ( Diameter ) ของแผ่นผลึกประมาณ 76.2 mm.

(2) การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิกอนครั้งแรก

- Ultrasonic ในน้ำบริสุทธิ์ (Deionization) 2 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรด $HNO_3$ 10 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง 5 นาที
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง 5 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(3) การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นแบบมาตรฐาน

- ต้มใน Tricholocthylenene 5 นาที
- Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(4) การ Slice etching (เพื่อกำจัดชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นก่อนกระบวนการออกซิเดชั่น )

- จุ่มในสารละลาย HF 5% 10 วินาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(5) กระบวนการออกซิเดชั่น

การสร้างออกไซด์ในขั้นตอนนี้เพื่อเป็นส่วนป้องกันในการแพร่สารเจือ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Dry:Wet:Dry โดย Dry Oxidation ด้วย $O_2$ 1200 cc/min เป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อจากนั้นทำ Wet Oxidation ด้วย $O_2$ 1000 cc/min เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง และทำ Dry Oxidation อีกครั้งด้วย $O_2$ 1200 cc/min เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิเตา 1100 $^{\circ}$ C

(6) กระบวนการ Photolithography (Mask #1)

เริ่มต้นจากกระจก mask สำหรับการแพร่โบรอน

- นำแผ่นอบไล่ความชื้น นาน 30 นาที (อุณหภูมิประมาณ 80-95$^{\circ}$C)
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบด้วย waycoat

โดยหยด waycoat ประมาณ 3 หยด spin 5000 rpm (รอบ) นาน 20 วินาที

- อบฟิล์ม (prebreak) ที่ 95$^{\circ}$C นาน 30 นาที
- ฉายแสง (expose) นาน 10 วินาที
- Develop ฟิล์ม
  - จุ่ม Xylene 2 แก้ว แก้วละ 90 วินาที
  - จุ่ม Isopropyl 3 แก้ว แก้วละ 30 วินาที
  - จุ่ม น้ำ DI
  - เป่าแห้งให้ด้วย $N_2$
- อบฟิล์ม ที่ 85-90$^{\circ}$C นาน 20 นาที (post break)
- เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- อบฟิล์มที่ 85-90$^{\circ}$C นาน 30 นาที

(7) Oxide etching

-จุ่มในสารละลาย buffer

-จุ่ม DI 2 แก้ว

-เป่าแห้งด้วย $N_2$

(8) กระบวนการลอกฟิล์ม ( waycoat )

-ต้มใน $H_2SO_4$ นาน 5 นาที 2 แก้ว

-จุ่มในน้ำ DI

-ต้มใน DI 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที

-จุ่ม น้ำ DI

-เป่าแห้งด้วย $N_2$

(9) ทำความสะอาดผิวหน้า

- ต้มใน Tricholocthylenene 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(10) การ Slice etching

- จุ่ม ใน HF 5% นาน 10 วินาที
- จุ่ม DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(11) Boron deposition Temp 970 °C

- Deposition ด้วย $N_2$ โดยผ่านก๊าซ เข้าไปในอัตรา 600 cc / min นาน 30 นาที
- ลอกชั้น Boron glass ด้วย HF for boron 5% นาน 10 วินาที

(12) Boron drive-in Temp 1100 °C

เป็นขั้นตอนขับลึกให้สารเจือแพร่ลงไปในผิวซิลิกอนเพื่อมากขึ้น พร้อมทั้งสร้างออกไซด์ปกคลุมผิวหน้าทั้งหมดมีขั้นตอนคือ

- Dry Oxidation 1000 cc/min นาน 2 ชั่วโมง

(13) กระบวนการ Photolithography (Mask #2)

เริ่มต้นจากกระจก mask สำหรับการแพร่ฟอสฟอรัส

- นำแผ่นอบไล่ความชื้น นาน 30 นาที (อุณหภูมิประมาณ 80-95°C)
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบด้วย waycoat

โดยหยด waycoat ประมาณ 3 หยด spin 5000 rpm (รอบ) นาน 20 วินาที

- อบฟิล์ม (prebreak) ที่ 95°C นาน 30 นาที
- ฉายแสง (expose) นาน 10 วินาที
- Develop ฟิล์ม
  - จุ่ม Xylene 2 แก้ว แก้วละ 90 วินาที
  - จุ่ม Isopropyl 3 แก้ว แก้วละ 30 วินาที
  - จุ่ม น้ำ DI
  - เป่าแห้งให้ด้วย $N_2$
- อบฟิล์ม ที่ 85-90°C นาน 20 นาที (post break)
- เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- อบฟิล์มที่ 85-90°C นาน 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(14) Oxide etching

- จุ่มในสารละลาย buffer
- จุ่ม DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(15) กระบวนการลอกฟิล์ม ( waycoat )

- ต้มใน $H_2SO_4$ นาน 5 นาที 2 แก้ว
- จุ่มในน้ำ DI
- ต้มใน DI 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
- จุ่ม น้ำ DI
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(16) ทำความสะอาดผิวหน้า

- ต้มใน Tricholocthylenene 5 นาที
- Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(17) การ Slice etching

- จุ่ม ใน HF 5% นาน 10 วินาที
- จุ่ม DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(18) Phosphorus deposition Temp 1000° C

- Deposition ด้วย $N_2$ 700 cc/min นาน 30 นาที
- ลอกชั้น phosphorus glass โดยจุ่มในสารละลาย HF 5% นาน 10 วินาที

(19) Phosphorus Drive-in Temp 1100 ° C

- Dry Oxidation 1200 cc/min นาน 3(1/2) ชั่วโมง

(20) การเคลือบทองคำบริสุทธิ์

โดยทำการเคลือบทองคำบริสุทธิ์ที่ด้านหลังของแผ่นผลึกซิลิกอนเพื่อทำการสร้างส่วนอินทรินซิคด้วย vacuum evaporation ที่ความดันประมาณ $1.6 \times 10^{-6}$ Torr

(21) Au Diffusion

- ทำการแพร่อะตอมทองคำที่ temp 900 ° C นาน 1(1/2) ชั่วโมงในบรรยากาศ $N_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ขาย หรือหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

500 cc/min

(22) กระบวนการ Photolithography (Mask#3)

เพื่อเปิดช่อง contact

- นำแผ่นอบไล่ความชื้น นาน 30 นาที (อุณหภูมิประมาณ 80-95°C)
- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดลบด้วย waycoat

โดยหยด waycoat ประมาณ 3 หยด spin 5000 rpm (รอบ) นาน 20 วินาที

- อบฟิล์ม (prebreak) ที่ 95°C นาน 30 นาที
- ฉายแสง (expose) นาน 10 วินาที
- Develop ฟิล์ม
  - จุ่ม Xylene 2 แก้ว แก้วละ 90 วินาที
  - จุ่ม Isopropyl 3 แก้ว แก้วละ 30 วินาที
  - จุ่ม น้ำ DI
  - เป่าแห้งให้ด้วย $N_2$
- อบฟิล์ม ที่ 85-90°C นาน 20 นาที (post break)
- เคลือบฟิล์มด้านหลัง
- อบฟิล์มที่ 85-90°C นาน 30 นาที

(23) Oxide etching

- จุ่มในสารละลาย buffer
- จุ่ม DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(24) กระบวนการลอกฟิล์ม ( waycoat )

- ต้มใน $H_2SO_4$ นาน 5 นาที 2 แก้ว
- จุ่มในน้ำ DI
- ต้มใน DI 2 แก้ว แก้วละ 5 นาที
- จุ่ม น้ำ DI
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(25) ทำความสะอาดผิวหน้า

- ต้มใน Tricholocthylenene 5 นาที
- Ultrasonic ใน Acetone 3 นาที
- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มในน้ำบริสุทธิ์แก้วที่สอง
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(26) การ Slice etching

- จุ่ม ใน HF 5% นาน 10 วินาที
- จุ่ม DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(27) การเคลือบชั้นอลูมิเนียมในสูญญากาศ (vacuum evaporation)

- โดยใช้อุปกรณ์ vacuum evaporation ที่ความดัน $2x10^{-6}$ Torr ทำการเคลือบแผ่นผลึกด้วยชั้นของอลูมิเนียม

(28) กระบวนการ Photolithography (Mask#4)

ลวดลายอลูมิเนียม

- เคลือบน้ำยาไวแสงชนิดบวก (AZ) โดย spin 5000 rpm
- อบฟิล์มที่ 85 °C นาน 20 นาที (prebake)
- ฉายแสง (expose)
- Develope ฟิล์มโดย
  - AZ Developer 2 แก้ว แก้วละ 30 วินาที
  - จุ่มน้ำ DI 2 แก้ว
  - เป่าแห้งด้วย $N_2$
- อบฟิล์มที่ 85 °C นาน 30 นาที

(29) การสกัดชั้นอลูมิเนียม (Aluminuim Etching)

- จุ่มในสารละลาย Aluminuim Etching ที่ อุณหภูมิประมาร 40°C
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(30) กระบวนการลอกฟิล์ม

- จุ่มลงใน Actone 2 แก้ว แก้วละ 1 นาที
- จุ่มในน้ำ DI 2 แก้ว
- เป่าแห้งด้วย $N_2$

(31) กระบวนการ Sintering

- Dry $N_2$ 1000 cc/min นาน 12 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 510-530°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

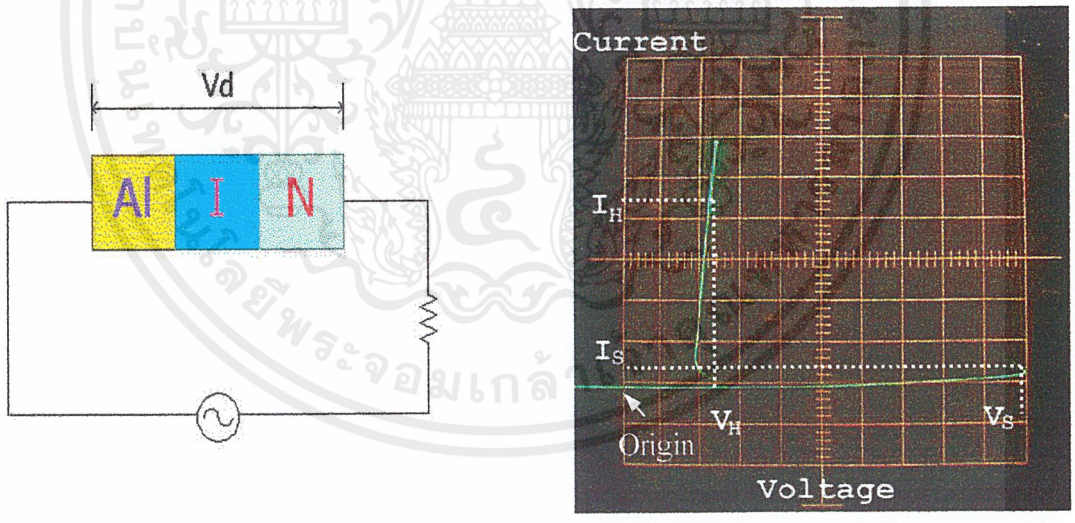
# บทที่ 5

## การทดลองและผลการทดลอง

จุดประสงค์ เพื่อต้องการศึกษาคุณสมบัติ I-V ของ ALIN-Diode

1. การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของ I – V curve ต่อ ระยะ I ของ ALIN
2. การศึกษาผลของขนาดของส่วน Al และส่วน N โดยการลดขนาดลงเท่าๆ กัน
3. ศึกษาผลของพื้นที่ทางเดินกระแส I
4. ศึกษาผลของแสง ซึ่งมีผลกับ $I_S$ , $I_H$ , $V_S$ , $V_H$
5. เพื่อศึกษาผลของกระแสรั่ว $I_O$ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการสร้าง Guarding
6. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเกิด CCNR แบบ Bi-directional

จากรูปที่ 5.1 จะเป็นวงจรการวัด และ คุณสมบัติการเกิดความต้านทานเชิงลบซึ่งรูปดังกล่าวจะใช้จุดต่างดังที่ได้แสดงไว้เป็นจุดอ้างอิงโดยตลอด

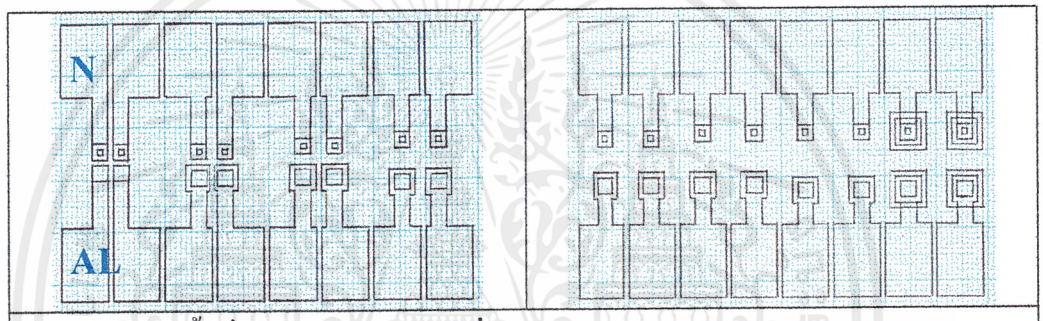



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรการวัด และ คุณสมบัติการเกิดความต้านทานเชิงลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

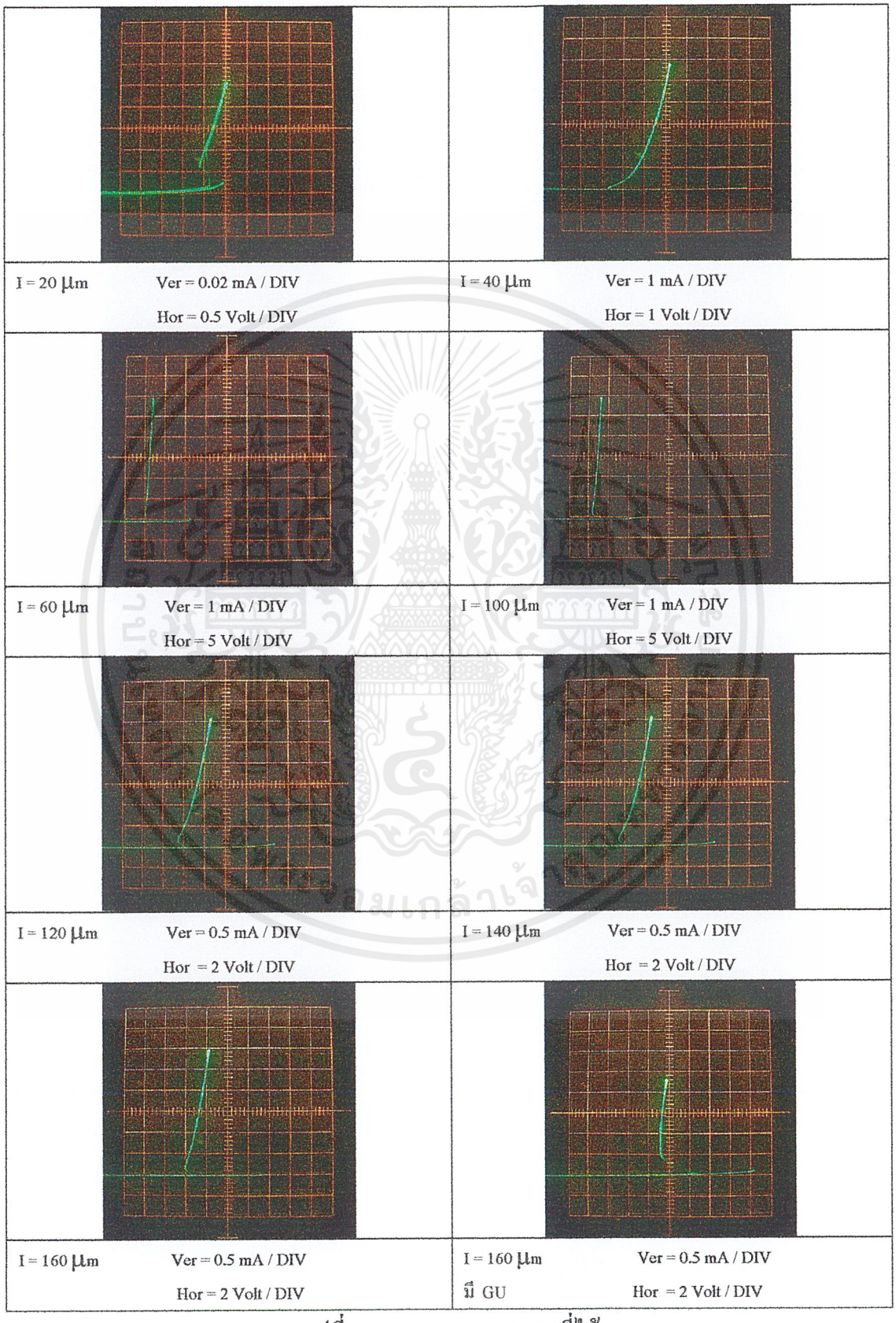
## 5.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของ I – V curve ต่อ ระยะ I ของ ALIN

5.1.1 ผลของการเปลี่ยนค่าระยะ I ซึ่งจากการทดลองพบว่าสามารถสร้าง ALIN ซึ่งมีระยะ I ที่ต่ำสุด ถึง 20 μm ที่ขนาด พื้นที่ ส่วน AL และส่วน N มีขนาด $(60\ \mu m)^2$ ได้



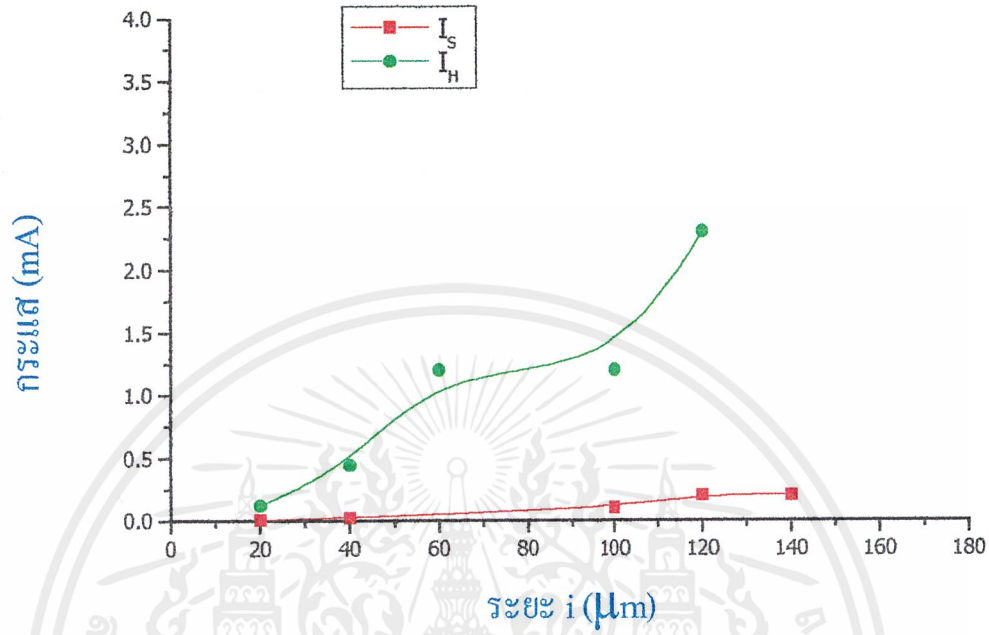

รูปที่ 5.2 แสดงโครงสร้าง N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

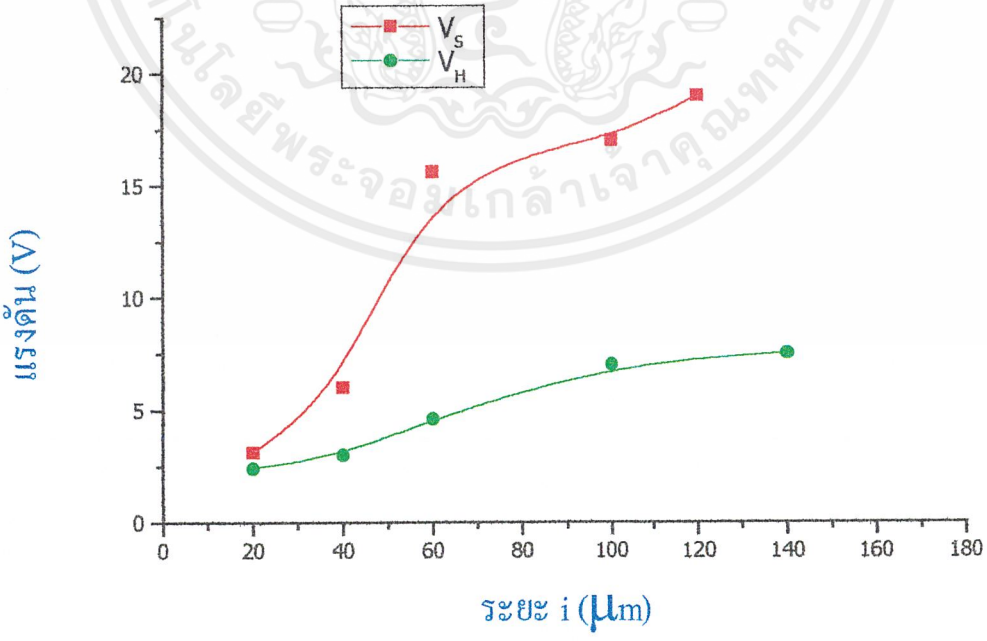



**รูปที่ 5.3 แสดงผลการทดลองที่ได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



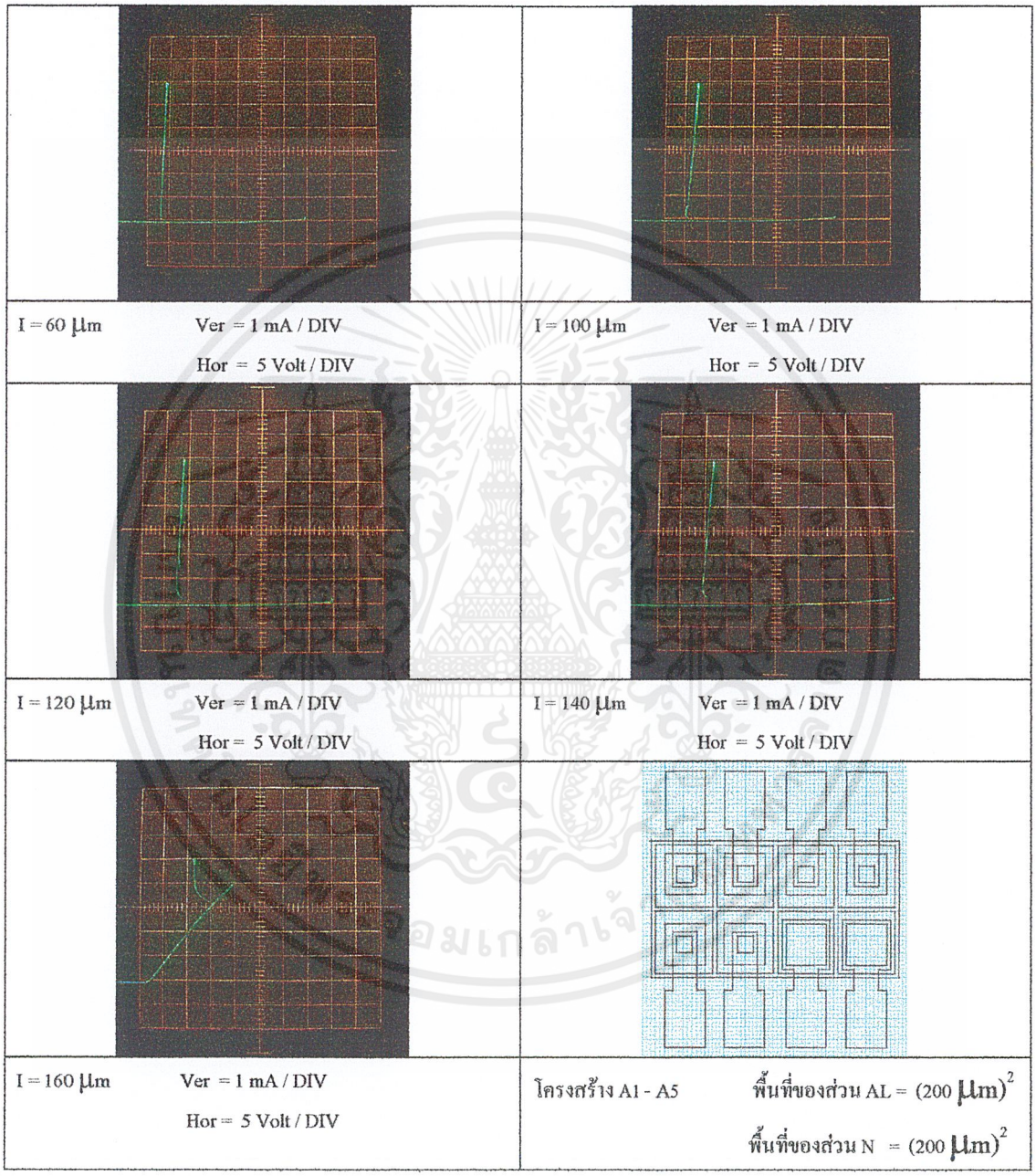

รูปที่ 5.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $I_S$, $I_H$




รูปที่ 5.5 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $V_S$, $V_H$

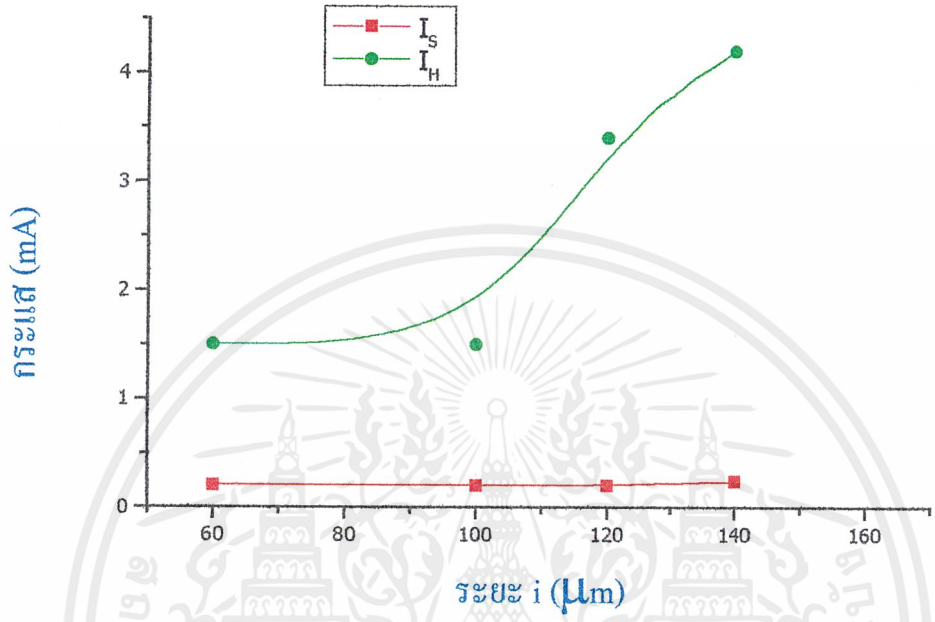
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.2 ผลของการเปลี่ยนค่าระยะ I ต่อกระแส $I_S$ , $I_H$ และ $V_S$ , $V_H$

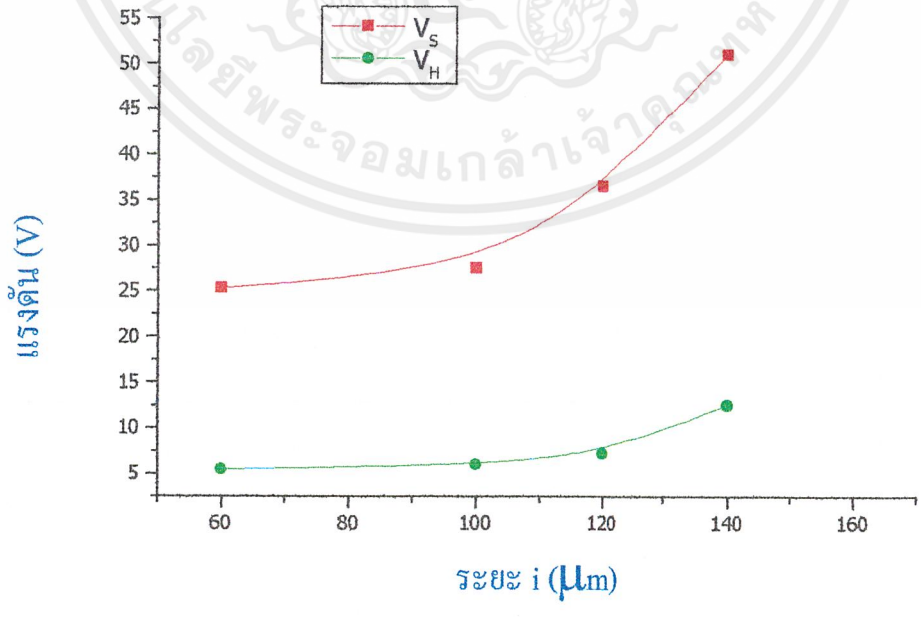



รูปที่ 5.6 แสดงผลการทดลองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.7 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $I_S$, $I_H$

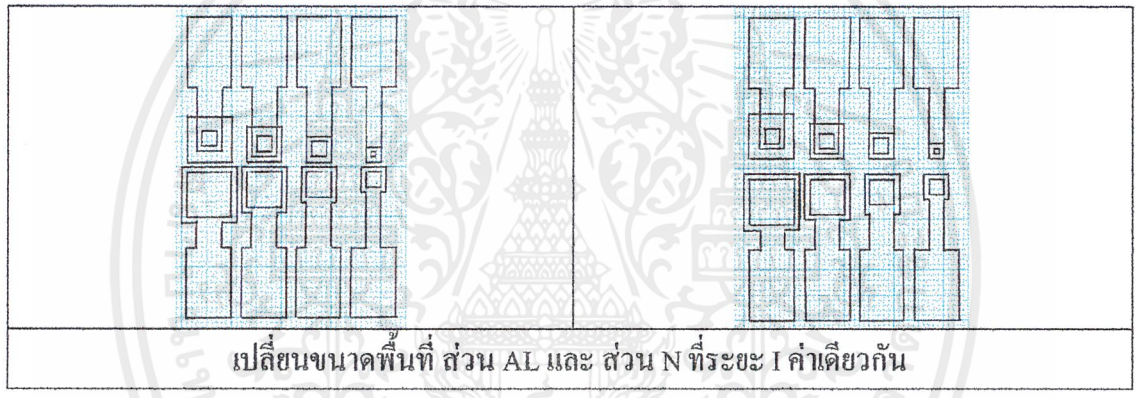



รูปที่ 5.8 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $V_S$, $V_H$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

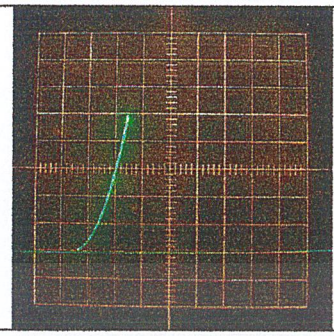
ในการทดลองที่ 5.1 พบว่า สามารถสร้าง ALIN ที่มีขนาดเล็กถึง (60 $\mu m$)$^2$ ที่ระยะ i = 20 $\mu m$ ได้และเมื่อทำการเพิ่มระยะ I ให้มากขึ้นจะพบว่า $I_S$ จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่ $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือเมื่อ ระยะเพิ่มมากขึ้น $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย

5.2 การศึกษาผลของขนาดของส่วน Al และส่วน N โดยการลดขนาดลงเท่าๆ กัน

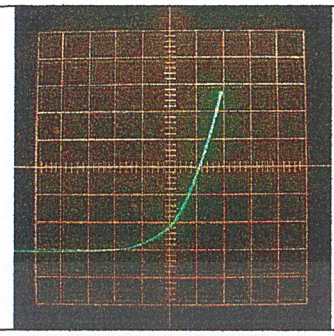



รูปที่ 5.9 แสดงโครงสร้าง O

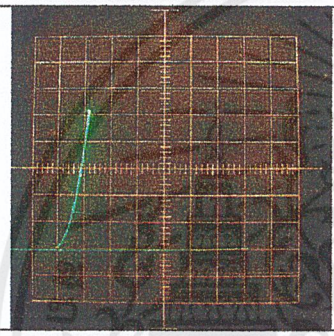
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



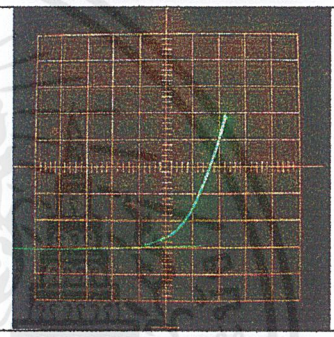
พื้นที่ (60 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 40 μm Hor = 1 Volt / DIV



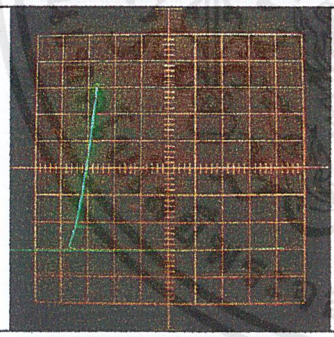
พื้นที่ (60 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 80 μm Hor = 1 Volt / DIV



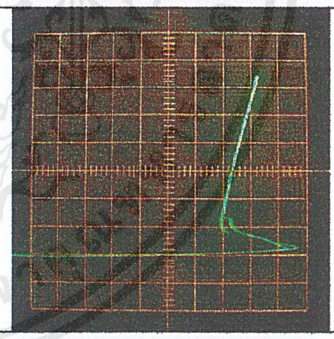
พื้นที่ (100 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 40 μm Hor = 1 Volt / DIV



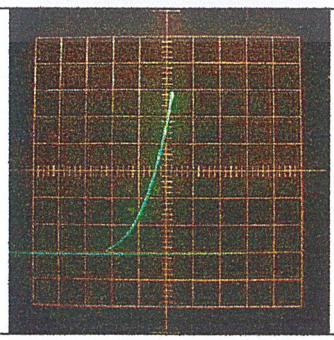
พื้นที่ (100 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 80 μm Hor = 1 Volt / DIV



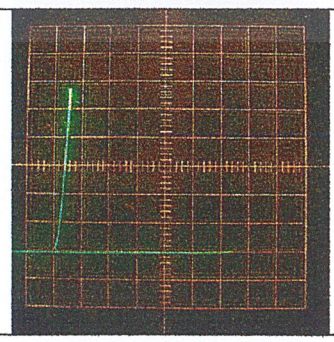
พื้นที่ (140 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 40 μm Hor = 1 Volt / DIV



พื้นที่ (140 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 80 μm Hor = 1 Volt / DIV



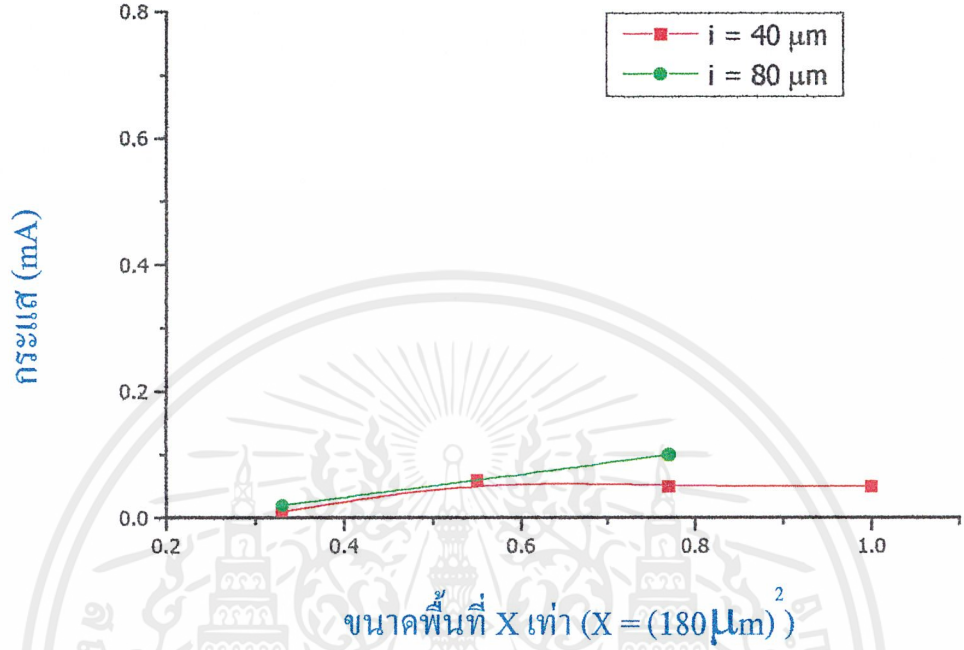
พื้นที่ (180 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 40 μm Hor = 1 Volt / DIV



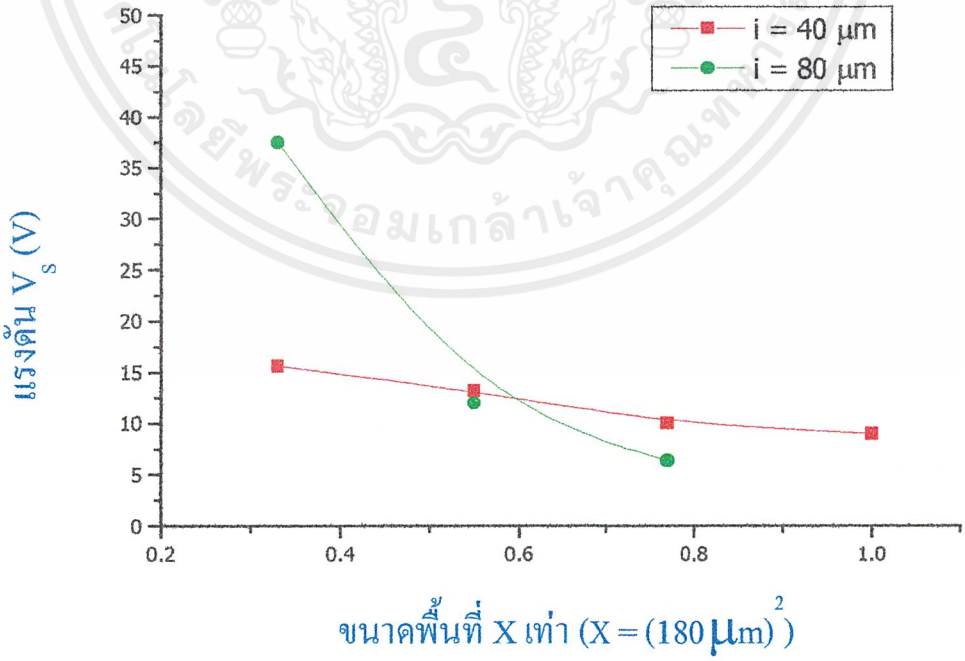
พื้นที่ (180 μm)$^2$ Ver = 1 mA / DIV
I = 80 μm Hor = 1 Volt / DIV

**รูปที่ 5.10 แสดงผลการทดลองที่ได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 5.11 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $I_S$, $I_H$

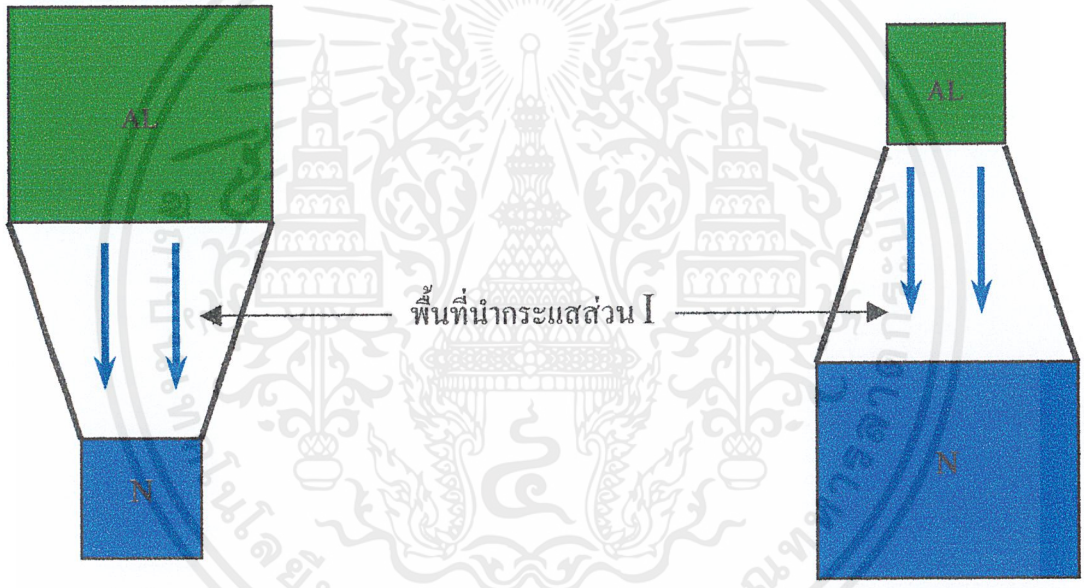



รูปที่ 5.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงระยะ I ต่อกระแส $V_S$, $V_H$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

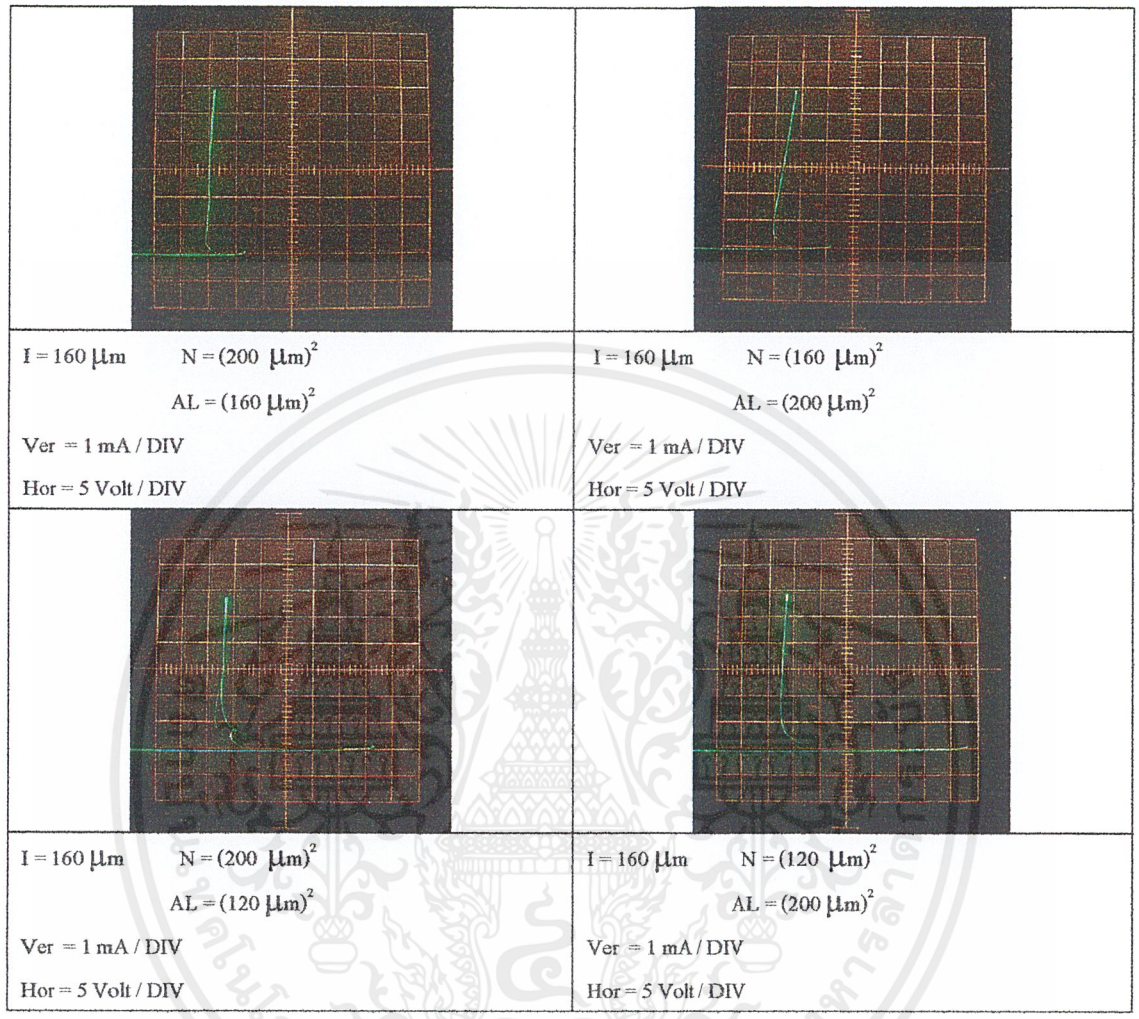
ในการทดลองที่ 5.2 พบว่าที่ระยะ I = 40 μm การลดขนาดของพื้นที่ลงพร้อมๆ กันทั้งส่วน AL และส่วน N โดยผลของขนาดจะทำให้ $I_S$ เปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่ $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือเมื่อขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้แรงดัน $V_S$ เพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่ระยะ i = 80 μm จะให้ผลเช่นเดียวกัน

5.3 ศึกษาผลของพื้นที่ทางเดินกระแส I โดยจะมีลักษณะพื้นที่จากใหญ่ไปเล็กและเล็กไปใหญ่ดังแสดงดังรูป




รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะทางเดินกระแสที่ผ่านส่วน I

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

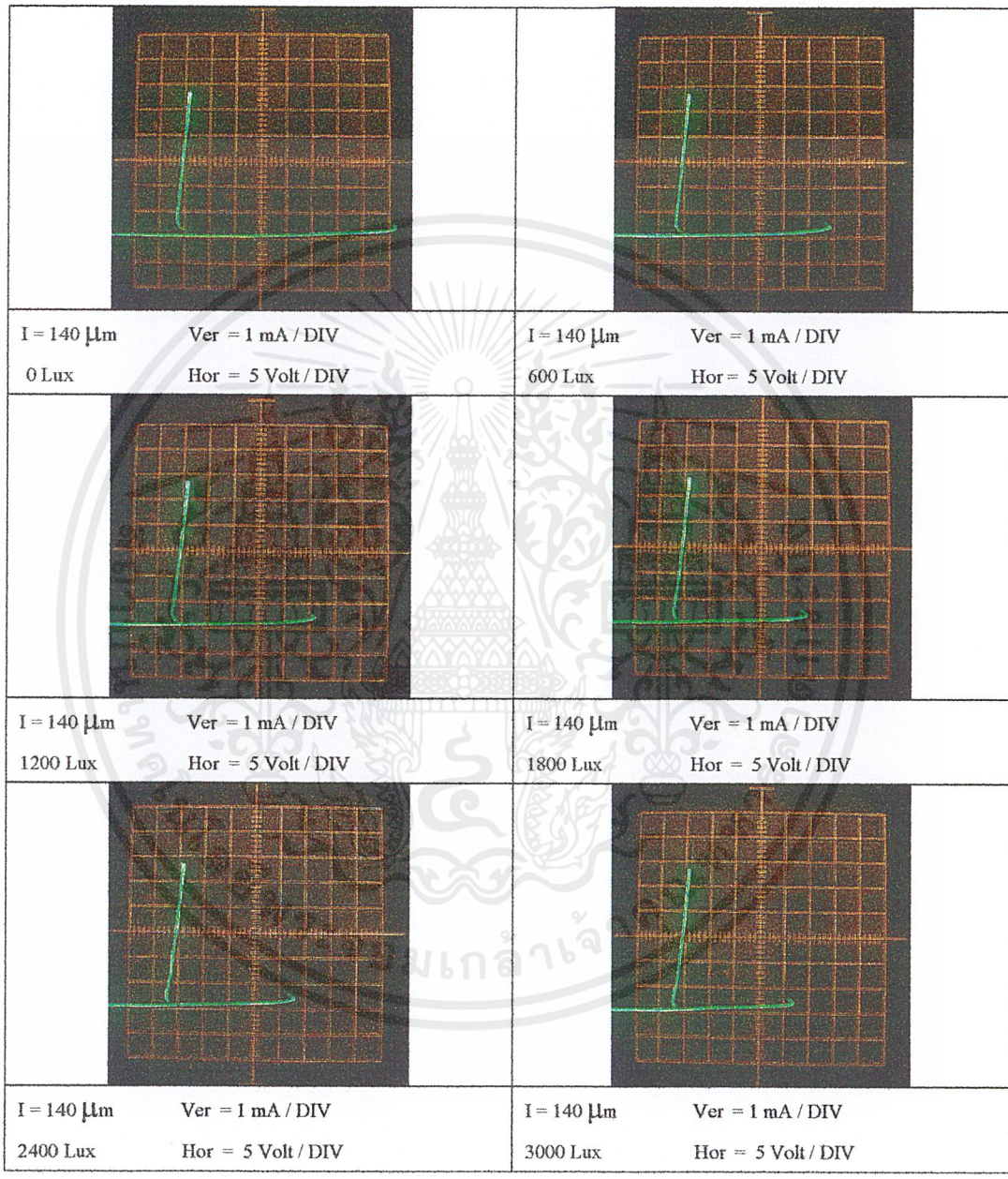



รูปที่ 5.14 ผลการวัด โดยการเปลี่ยนแปลงขนาดของส่วน AL และ ส่วน N

ในการทดลองที่ 5.3 พบว่าการลดขนาดของพื้นส่วน AL แต่คงส่วน N ไว้และการลดขนาดของพื้นส่วน N แต่คงส่วน AL มีผลต่อแรงดันกับ $V_S$ ทั้งสองกรณี และยังพบว่าการลดขนาดของพื้นที่ส่วน AL ลงจะทำให้ได้ค่าแรงดัน $V_s$ ที่ลดลงกว่าการลดขนาดของส่วน N

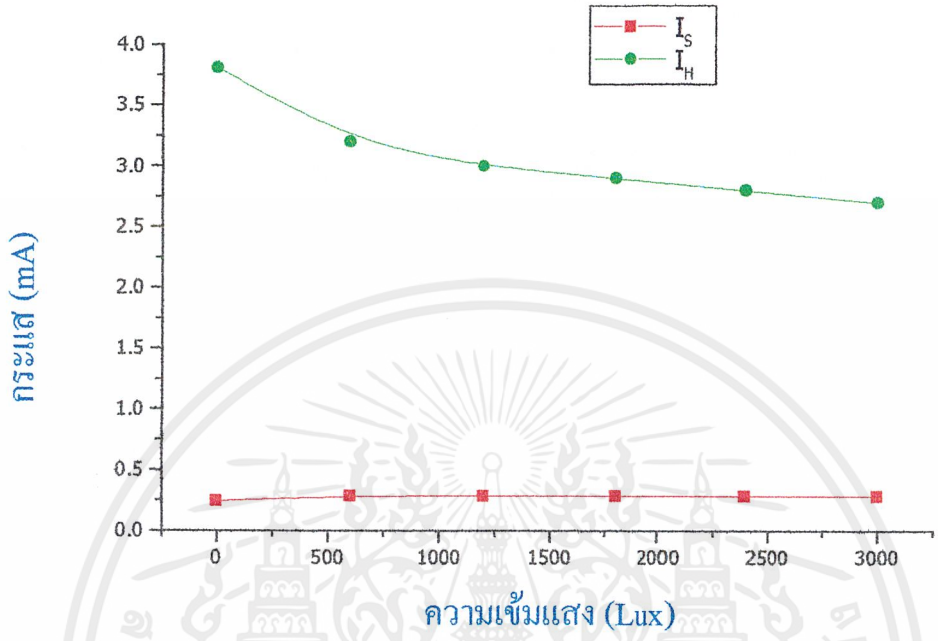
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ศึกษาผลของแสง ซึ่งมีผลกับ $I_S$ , $I_H$ , $V_S$ , $V_H$

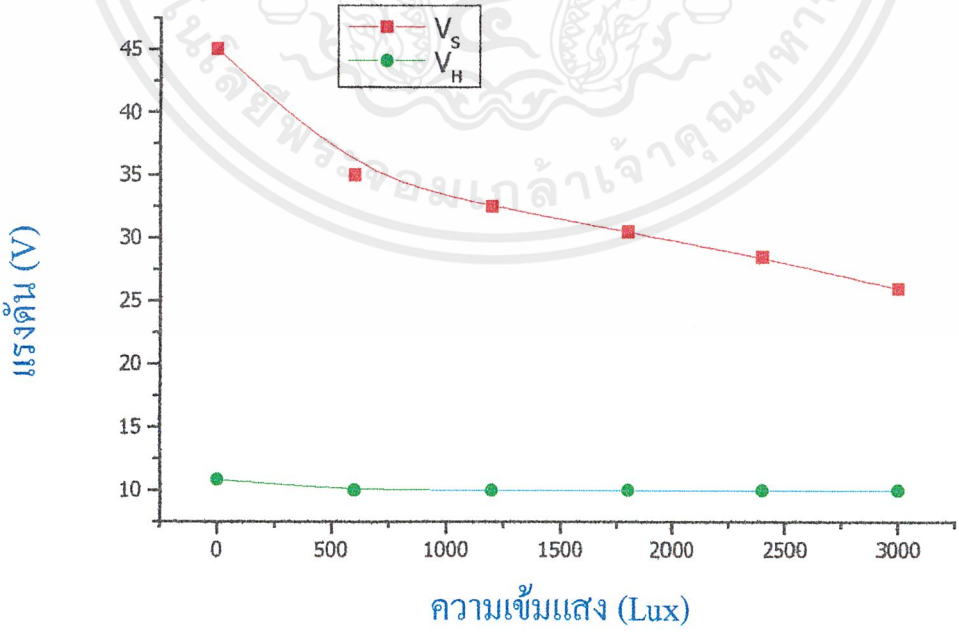



รูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นผลของการกระแส $I_S$ เนื่องจากแสงที่สภาวะ On-state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

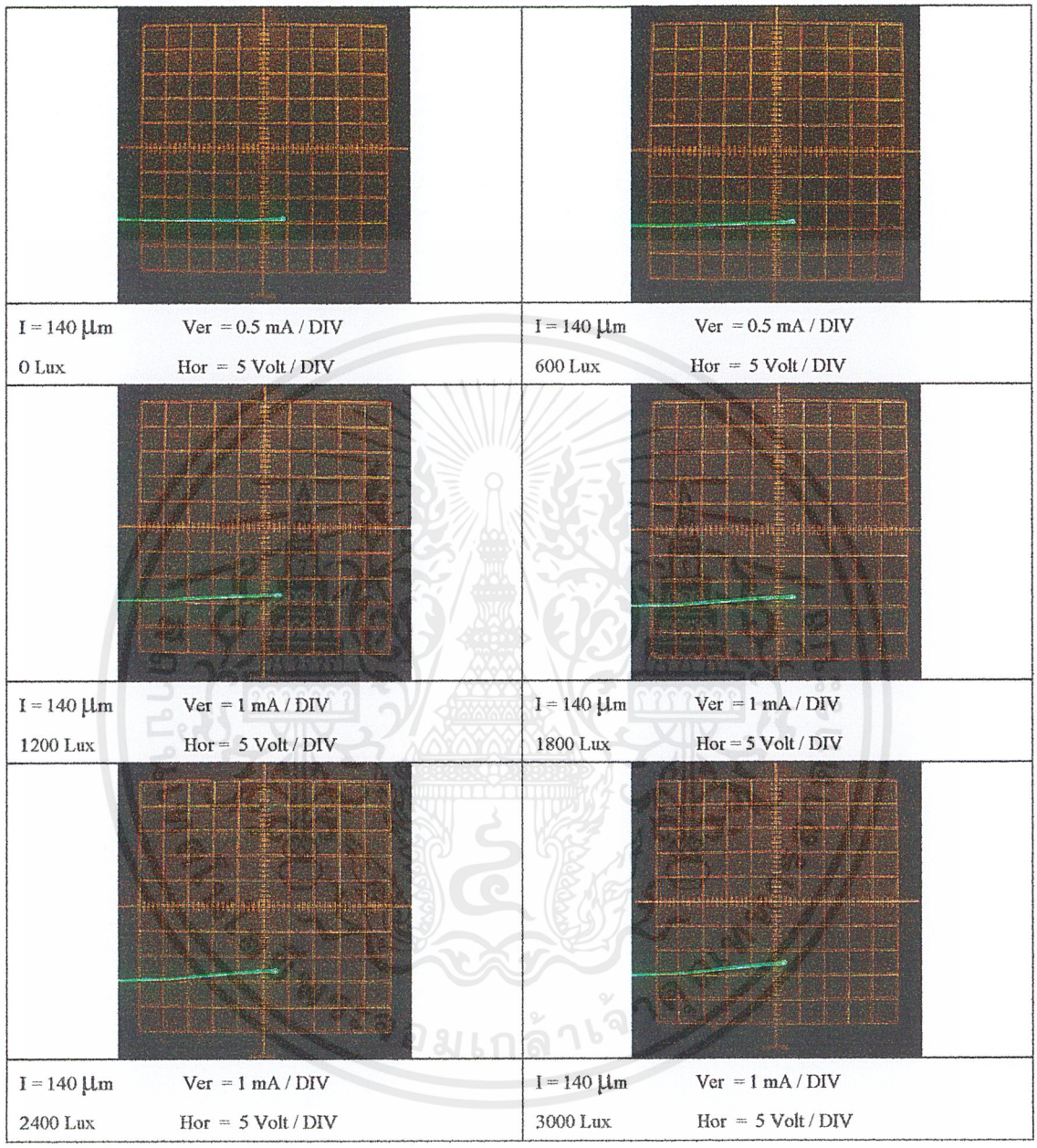



รูปที่ 5.16 ผลของแสง ต่อกระแส $I_S$, $I_H$ ที่ระยะ I ค่าต่างๆ




รูปที่ 5.17 ผลของแสง ต่อกระแส $V_S$ ,$V_H$ ที่ระยะ I ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

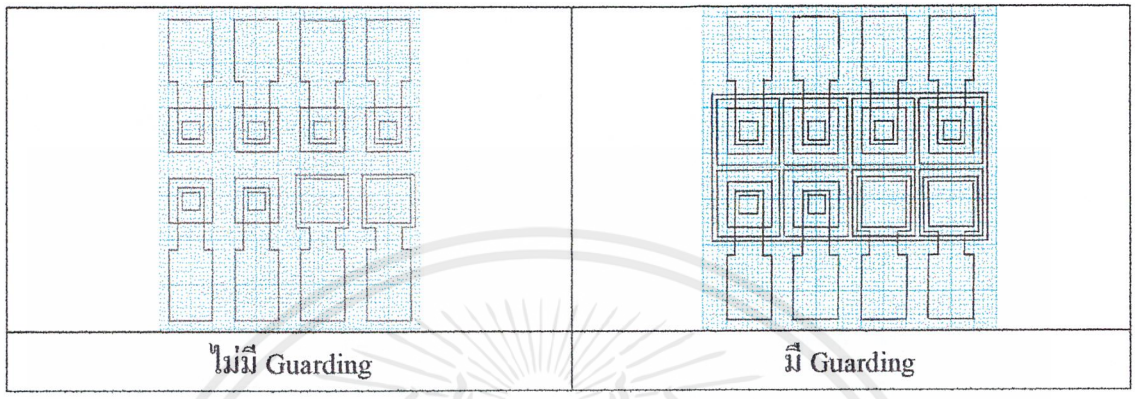



รูปที่ 5.18 แสดงให้เห็นผลของการกระแส $I_S$ เนื่องจากแสงที่สภาวะ Off-state

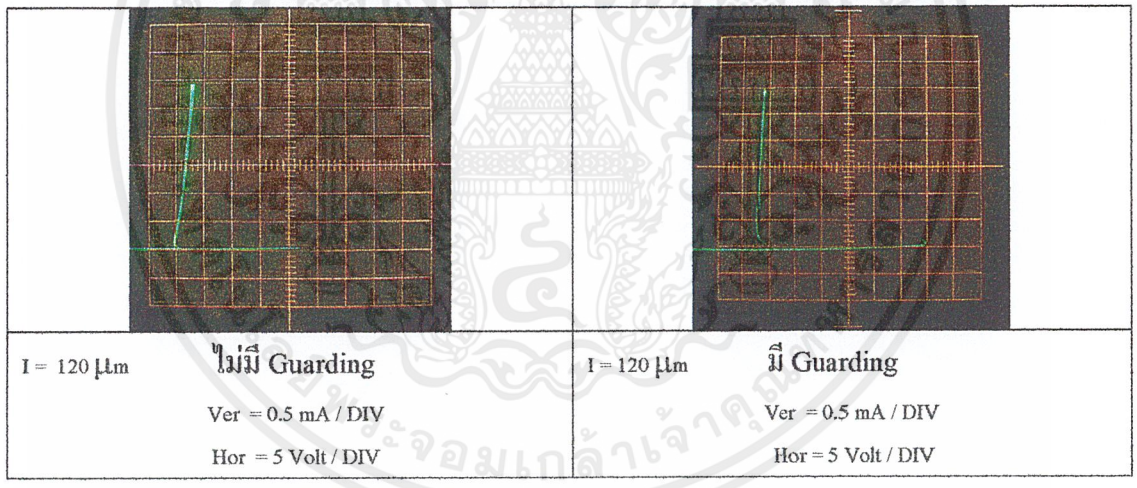
ในการทดลองที่ 5.4 พบว่าการให้แสงจะทำให้เกิด กระแส $I_P$ ซึ่งจะทำให้กระแส $I_{bias}$ ลดลง เนื่องจากสมการ $I_S \propto I_{bias} + I_P$ ซึ่ง $I_S$ เป็นคุณสมบัติของส่วน I ดังที่ได้ทำการทดลองไปแล้ว ดังนั้น ถ้า $I_S$ คงที่แล้วแสดงว่า $I_{bias}$ ที่ให้กับ ALIN น่าจะลดลงเพราะเกิดกระแสบางส่วนเนื่องจากแสงหรือ อาจกล่าวได้ว่า หากให้แสงมากจะทำให้ $I_S$ ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 เพื่อศึกษาผลของกระแสรั่ว $I_o$ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการสร้าง Guarding




รูปที่ 5.19 แสดงโครงสร้าง J

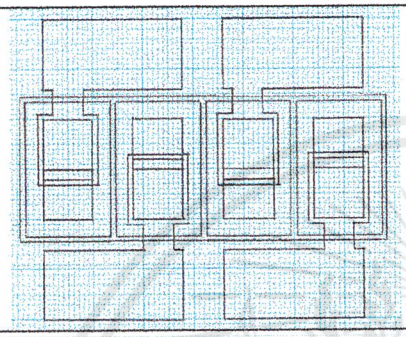



รูปที่ 5.20 แสดงผลการทดลองที่ได้

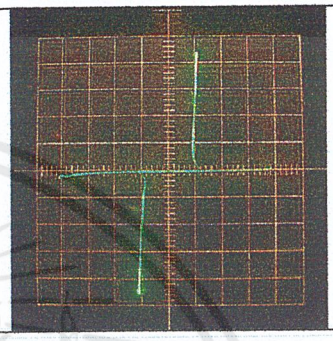
ในการทดลองที่ 5.5 พบว่า Guarding จะช่วยป้องกันกระแสรั่วที่ผิวได้ทำให้สามารถควบคุมกระแสให้ไหลในเนื้อสารได้เป็นผลให้แรงดัน $V_s$ เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 เพื่อศึกษาปรากฏการณ์การเกิด CCNR แบบ Bi-directional ในขณะ ไบอัสตรง และไบอัสกลับ



โครงสร้าง P



CCNR แบบ Bi-directional

รูปที่ 5.20 แสดงผลการทดลองที่ได้

จากการทดลองที่ 5.6 สามารถสร้างให้สามารถทำงานได้ทั้งขณะ ไบอัสตรง และไบอัสกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปวิจารณ์การทดลอง

สามารถสร้าง ALIN ที่มีขนาดเล็กถึง $(60\mu m)^2$ ที่ระยะ i = 20 $\mu$m ได้และเมื่อทำการเพิ่มระยะ I ให้มากขึ้นจะพบว่า $I_S$ จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่ $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือเมื่อ ระยะเพิ่มมากขึ้น $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย

ระยะ I = 40 $\mu$m การลดขนาดของพื้นที่ลงพร้อมๆ กันทั้งส่วน AL และส่วน N โดยผลของขนาดจะทำให้ $I_S$ เปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่ $V_S$ ,$V_H$, $I_H$ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดกล่าวคือเมื่อขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้แรงดัน $V_S$ เพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่ระยะ i = 80 $\mu$m จะให้ผลเช่นเดียวกัน

การลดขนาดของพื้นส่วน AL แต่คงส่วน N ไว้และการลดขนาดของพื้นส่วน N แต่คงส่วน AL มีผลต่อแรงดันกับ $V_S$ ทั้งสองกรณี และยังพบว่าการลดขนาดของพื้นที่ส่วน AL ลงจะทำให้ได้ค่าแรงดัน $V_s$ ที่ลดลงกว่าการลดขนาดของส่วน N

การให้แสงจะทำให้เกิด กระแส $I_P$ ซึ่งจะทำให้กระแส $I_{bias}$ ลดลงเนื่องจากสมการ $I_S \alpha I_{bias} + I_P$ ซึ่ง $I_S$ เป็นคุณสมบัติของส่วน I ดังที่ได้ทำการทดลองไปแล้ว ดังนั้นถ้า $I_S$ คงที่แล้วแสดงว่า $I_{bias}$ ที่ให้กับ ALIN น่าจะลดลงเพราะเกิดกระแสบางส่วนเนื่องจากแสงหรืออาจกล่าวได้ว่า หากให้แสงมากจะทำให้ $I_S$ ลดลงเพราะแสงให้พลังงานกับส่วน I ทำให้อิเล็กตรอน-โฮลอิสระเกิดขึ้นและเนื่องจากส่วน I มีสนามไฟฟ้าจึงทำให้เกิดกระแส $I_P$ ขึ้น

Guarding จะช่วยป้องกันกระแสรั่วที่ผิวได้ทำให้สามารถควบคุมกระแสให้ไหลในเนื้อสารได้เป็นผลให้แรงดัน$V_S$ เพิ่มขึ้นเพราะจากเดิมในกณีที่ไม่มี Guarding กระแสจะไหลที่ผิวซึ่งก็หมายถึงค่าความต้านทานส่วน I ลดลงทำให้แรงดันตกคร่อมที่ทำให้เกิด $V_S$ จึงลดลงไปด้วย

สามารถสร้างให้สามารถทำงานได้ทั้งขณะ ไบอัสตรง และไบอัสกลับ

สามารถสรุปตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญได้ดังนี้ได้ดังนี้

$V_S \alpha$ f( I, Area of AL&N, $I_0$, $I_P$ )

$I_S$ จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือประมาณว่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบขอบคุณ รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช ที่ให้แนวความคิดตลอดจนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และ อาจารย์ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์, เจ้าที่ ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ และนศ.ปริญญาโททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านการสร้าง, ภาพถ่ายประกอบการทดลอง, การวัดผล ด้วยดีโดยตลอด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

(1) รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช : " สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ " พิมพ์ครั้งที่ 7 พ.ศ. 2540

(2) รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเดช : " อิเลคทรอนิคส์สารกึ่งตัวนำ " พิมพ์ครั้งที่ 7 พ.ศ. 2538

(3) จินดารัตน์ สุพพัตเวช: "วิทยานิพนธ์ ศึกษาโครงสร้างของซิลิกอนพลานาร์ไดโอดแบบ IG p+-i-n+ Planar Diodes with Injection Gate"

(4) Ben G. Streetman :" Solid State Electronic Devices " , 1995 , pp 149-154

(5) Kanaan Kano : " Semiconductor Devices " , 1998

(6) John Allison : " Electronic Engineering Semiconductors And Devices " , 1990 , pp 184-190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## 1. เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการถ่าย MASK

| | |
|---|---|
| Hydroquinone | เป็นสารประกอบ A ซึ่งจะนำไปรวมกับสารประกอบ B เพื่อสารเป็น น้ำยา Developer |
| Sodium Carbonate | เป็นนสารประกอบ B |
| Acid Hardening Fixer | ใช้ทำเป็นตัวหยุดปฏิกิริยา ของน้ำยา Developer |
| Nitrogen Gas ( $N_2$ ) | เป็นก๊าซเฉื่อยที่ใช้สำหรับทำหน้าที่ ใช้สำหรับเป่าแห้ง |

## 2. น้ำยาที่ใช้ในการกัดชั้นซิลิกอนไดออกไซด์

น้ำยาบัฟเฟอร์

ใช้ในการกัดซิลิกอนไดออกไซด์ เพื่อเป็นการเปิดช่องของสารเจือและทำรอยสัมผัส ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้คือ

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| กรดไฮโดรฟลูออริค | ( HF ) | 50% | 1 | ส่วน |
| แอมโมเนียมฟลูออไรด์ | ( $NH_4Cl$ ) | | 6 | ส่วน |

กรดกัดแก้ว ( HF ) 5%

เป็นกรดแก่ที่ใช้สำหรับการสะกัดชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ไม่หนานัก ซึ่งมีอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรดังนี้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| กรดไฮโดรฟลูออริค | ( HF ) | 50% | 1 | ส่วน |
| น้ำบริสุทธิ์ | ( DI Water ) | | 10 | ส่วน |

## 3. น้ำยาที่ใช้ในการกัดอะลูมิเนียม

เป็นน้ำยาที่ใช้ในกัดอะลูมิเนียม เพื่อทำลวดลายขั้วโลหะบนอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอัตราส่วนผสมโดยปริมาตร คือ

| | | | |
|---|---|---|---|
| กรดฟอสฟอริค | ( $H_3PO_4$ ) | 8 | ส่วน |
| กรดไนตริก | ( $HNO_3$) | 5 | ส่วน |
| กรดอะซิติก | ($CH_3COOH$) | 5 | ส่วน |
| น้ำบริสุทธิ์ | ( DI Water ) | 10 | ส่วน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4. น้ำยาที่ใช้กัด ( Stain etching ) เพื่อวัดความลึกของรอยต่อ**

อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| กรดกัดแก้ว | ( HF ) | 500 | ส่วน |
| กรดไนตริก 1% | ( $HNO_3$) | 5 | ส่วน |

**5. กรดกัดทอง ( Aqura regia )**

ใช้สำหรับกัดทองคำบริสุทธิ์ส่วนที่เหลือจากการแพร่เข้าไปอยู่ระหว่างอะตอมซิลิกอนนอก จากนี้ยังใช้ล้างอุปกรณ์ที่ทำมาจากควอทซ์ อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร คือ

| | | | |
|---|---|---|---|
| กรดเกลือ | ( HCl ) | 3 | ส่วน |
| กรดไนตริก | ( $HNO_3$) | 5 | ส่วน |

**6. กรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$)**

เป็นกรดที่ใช้ในการทำความสะอาดซิลิกอน และละลายแสงชนิดลบบนแผ่นซิลิกอน ภายหลังขบวนการโฟโตโทกราฟ นอกจากนี้ยังใช้ในการล้างน้ำยาไตรโคลโรเอทีลีนอีกด้วย

**7. อะซิโตน ( Acetone ) มีสูตรทางเคมีคือ $CH_3COOH_3$**

เป็นสารละลายที่ใช้สำหรับละลายสารไวแสงชนิดบวก (AZ) บนแผ่นผลึก ภายหลังกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี นอกจากนี้ยังใช้ในการล้างน้ำยาไตรคลอโรเอทีลีนอีกด้วย

**8. ไตรคลอโรเอทีลีน ( Trichloroethylene ) มีสูตรทางเคมีคือ $ClCH:CCl_2$**

เป็นสารละลายที่ใช้สำหรับชำระล้างไขมัน และสิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวซิลิกอน

**9. ไซลีน ( Xylene ) มีสูตรทางเคมีคือ $C_6H_4(CH_3)_2$**

เป็นสารละลายที่ใช้ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เพื่อละลายสารไวแสงชนิดลบที่ไม่ถูกฉายแสงออกจากผลึก

**10. ไอโซโปรพิลแอลกอฮอล์ ( Isopropyl Alcohol ) มีสูตรคือ $(CH_3)_2CHOH$**

เป็นสารละลายที่ใช้สำหรับการล้าง ทำความสะอาดแผ่นผลึกครั้งสุดท้ายก่อนทำให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**11. น้ำยาล้าง AZ ( AZ developer )**

เป็นสารละลายที่ใช้ในกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี เพื่อละลายสารไวแสงชนิดบวกที่ถูกฉายแสงออกจากผลึก

**12. ไนโตรเจน ($N_2$)**

เป็นก๊าซเฉื่อยที่ใช้สำหรับทำหน้าที่ carrier gas ในการแพร่สารเจือลงไปในผลึกซิลิกอน นอกจากนี้ยังใช้สำหรับเป่าแผ่นผลึกให้แห้งภายหลังการล้าง

**13. ออกซิเจน ($O_2$)**

เป็นก๊าซที่ใช้ในกระบวนการออกซิเดชั่น เพื่อสร้างชั้นซิลิกอนออกไซด์ ซึ่งเป็นชั้นป้องกันการแพร่ของสารเจือ และป้องกันผิวหน้าของแผ่นซิลิกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ALIN & PIN 06/00

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | A1<br>MARK | A2<br>A1 | A3<br>A2 | A4<br>A3 | A5<br>A4 | A6<br>A5 | A7<br>B1 | A8<br>B2 | A9<br>MARK |
| B | B1<br>I1 | B2<br>E1 | B3<br>E2 | B4<br>E3 | B5<br>E4 | B6<br>E5 | B7<br>H1 | B8<br>H2 | B9<br>B3 |
| C | C1<br>I2 | C2<br>F1 | C3<br>F2 | C4<br>F3 | C5<br>F4 | C6<br>F5 | C7<br>J1 | C8<br>J2 | C9<br>B4 |
| D | D1<br>I3 | D2<br>G1 | D3<br>G2 | D4<br>G3 | D5<br>G4 | D6<br>G5 | D7<br>N1 | D8<br>N2 | D9<br>B5 |
| E | E1<br>C1 | E2<br>P1 | E3<br>P2 | E4<br>P3 | E5<br>P4 | E6<br>P5 | E7<br>Q1 | E8<br>Q2 | E9<br>O1 |
| F | F1<br>C2 | F2<br>S1 | F3<br>S2 | F4<br>S3 | F5<br>S4 | F6<br>S5 | F7<br>R1 | F8<br>R2 | F9<br>02 |
| G | G1<br>C3 | G2<br>K1 | G3<br>K2 | G4<br>K3 | G5<br>L1 | G6<br>L2 | G7<br>M1 | G8<br>M2 | G9<br>O3 |
| H | H1<br>MARK | H2<br>C4 | H3<br>C5 | H4<br>D1 | H5<br>D2 | H6<br>D3 | H7<br>D4 | H8<br>D5 | H9<br>MARK |

จากตารางแสดงการวางแต่ละโครงสร้างโดยให้ สีแดงแทนรหัสบน Chip และสีดำแทนรหัสโครงสร้างจริงที่ออกแบบไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้