

การศึกษาปรากฏการณ์จลลโนเสาร์กึ่งควานาโดยเทคนิคของ
แวน เคอร์ เพาว์



นายมนัส แชคาน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

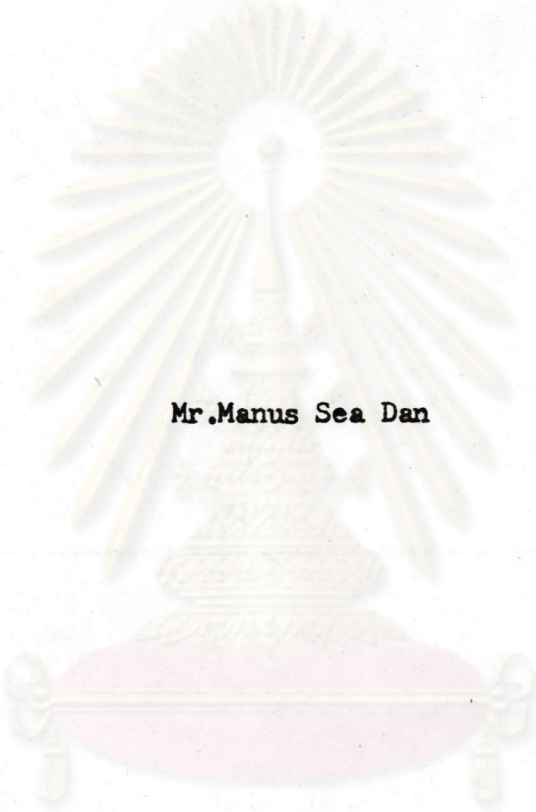
พ.ศ. 2526

ISBN 974/561/809/8

010336

116984353

THE STUDY OF HALL EFFECT IN SEMICONDUCTOR BY
VAN DER PAUW TECHNIQUE



Mr. Manus Sea Dan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Physics
Graduate School
Chulalongkorn University

1983

ISBN 974/561/809/8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำโดยเทคนิคของ

แวน เคอร์ เพาว์

โดย

นายมนัส แซ่ตาน

ภาควิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตะระกัมพูช



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอเชิญบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาเป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... *Signature* คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประคิษฐ์ บุญนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... *Signature* ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร เสงี่ยมพันธ์)

..... *Signature* กรรมการ
(ดร.วิโรจน์ ทัศนภรณ์)

..... *Signature* กรรมการ
(อาจารย์ภรณ์รัตน์ รัตนธรรมพันธ์)

..... *Signature* กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เตะระกัมพูช)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำโดยเทคนิคของ

แวน เคอร์ เพาว์

ชื่อนิสิต

นายณัฐ แซ่คาน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตสิน เฑาะก์ำพฤษ

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2525



บทคัดย่อ

การวิจัยได้ศึกษาเทคนิคการวัดค่า สภาพต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์วีธีของ แวน เคอร์ เพาว์ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดแบบธรรมดา ผลการทดลองปรากฏว่าการวัดค่า สภาพต้านทานไฟฟ้าทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ส่วนการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ พบว่าถ้าเลือกจุดวัด ที่เหมาะสมแล้ว การวัดทั้งสองวิธีจะให้ผลสอดคล้องกันเช่นเดียวกัน

ในการใช้เทคนิคการวัดแบบ แวน เคอร์ เพาว์ วัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ ของฮอลล์ของผลึกกึ่งตัวนำซิลิกอน ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 290 K ถึง 460 K โดยใช้อุปกรณ์ควบคุม อุณหภูมิที่สร้างขึ้นเองจากวัสดุที่มีทั่วไปในประเทศ ผลการทดลองพบว่า ผลึกซิลิกอนที่วัดเป็นชนิดเอ็น ช่วงอุณหภูมิ 290 K ถึง 420 K เป็นช่วงเอ็กซ์ตรูมที่มีความหนาแน่นของพาหะเฉลี่ย $(6.04 \pm 0.15) \times 10^{19}$ เมตร⁻³ และสภาพเคลื่อนไต่ μ สัมพันธ์กับอุณหภูมิ T $\mu \propto T^{-2.6}$ ซึ่งเหมือนกับการทดลองของ F.J. Morin กับ J.P. Maita และสอดคล้องกับทฤษฎี ที่ว่า สภาพเคลื่อนไต่ μ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอันตรกิริยากับโฟนอน

เครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ฮอลล์ของผลึกกึ่งตัวนำอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

Thesis Title The Study of Hall Effect in Semiconductor
 by Van der Pauw Technique
Name Mr. Manus Sea Dan
Thesis Advisor Assistant Professor Anuntasin Tachagumpuch
Department Physics
Academic Year 1982

ABSTRACT

The measurement of resistivity and Hall Coefficient of semiconductor were performed by Van der Pauw method and by normal method for comparison. For resistivity measurement, it was found that the results from both methods were the same. However, in the Hall Coefficient measurements, the Van der Pauw method yielded the accurate results only when the proper points of electrical contact were used, and in this case results from both methods were practically the same.

The Van der Pauw technique was then used to measure the resistivity and Hall Coefficient of flat silicon crystal of arbitrary shape from 290 K to 460 K. The temperature control equipment were constructed by using most material available in Thailand. The experiments indicated that silicon sample is n-type, exhaustion range of the sample is about 290 K to 420 K and carrier density is about $(6.04 \pm 0.15) \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$. The Hall mobility (μ) was found to varies as temperature as $T^{-2.6}$ in agreement with the experiments performed before by F.J. Morin and J.P. Maita⁽⁵⁾.

This set of equipments can be used to study the transport phenomena of other similar crystals.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.อนันตสิน เตชะกำพุช ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาและคอยช่วยเหลือ ในระหว่างการทำวิจัย
และเขียนวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ บัญญัติ ที่ได้กรุณาให้ยืม
เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ จึงขอขอบ
พระคุณทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ



| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| รายการตารางประกอบ..... | ฉ-ช |
| รายการรูปประกอบ..... | ฉ-ฉ |
| บทที่ 1 บทนำและทฤษฎี..... | 1 |
| 1.1 บทนำ..... | 1 |
| 1.2 กระบวนการ เคลื่อนย้ายและสภาพนำไฟฟ้า..... | 4 |
| 1.3 คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ..... | 10 |
| 1.4 ปรากฏการณ์ฮอลล์..... | 14 |
| 2. เทคนิคการวัดและอุปกรณ์..... | 19 |
| 2.1 การวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ แบบธรรมดา..... | 19 |
| 2.2 การวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ โดยวิธีแบบแวน เคอร์ เพาว์..... | 21 |
| 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 23 |
| 2.4 การวางอุปกรณ์ในการ วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและ ค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์..... | 33 |
| 3. การทดลองและผลการทดลอง..... | 35 |
| 3.1 การทดลองเพื่อหาลักษณะการใช้งานอุปกรณ์วัดความ อุณหภูมิ..... | 35 |
| 3.2 การทดลองเปรียบเทียบการ วัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และสัมประสิทธิ์ของฮอลล์โดยวิธีธรรมดา กับวิธีของ แวน เคอร์ เพาว์..... | 44 |
| 3.3 การวัดความหนาของผลึก B ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.. | 56 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

| | | |
|---|---|----|
| | 3.4 การวัด และ R_H โดยวิธีของแวน เคอร์ เพาว์ ของผลึก B ที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... | 58 |
| 4 | สรุปผลการทดลอง..... | 75 |
| | 4.1 เครื่องมือใช้ในการทดลอง..... | 75 |
| | 4.2 เปรียบเทียบการวัด ρ และ R_H แบบธรรมดา กับแบบ แวน เคอร์ เพาว์..... | 76 |
| | 4.3 การวัด ρ และ R_H ของผลึก B ที่อุณหภูมิต่าง ๆ | 77 |
| | ภาคผนวก A1 | 82 |
| | ภาคผนวก A2 | 87 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 3.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_t กับอุณหภูมิที่ควบคุมได้ (t)... | 36 |
| 3.2 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Δt กับ P (กำลังไฟฟ้า) | 37 |
| 3.3 | แสดงตารางมาตรฐาน R_p กับอุณหภูมิซึ่งจะไหลตั้ง R_t | 39 |
| 3.4 | แสดงความสัมพันธ์เวลาช่วง 30 นาทีสุดท้ายกับอุณหภูมิที่ควบคุม | 40 |
| 3.5 | แสดงผลการวัดค่าสภาพต้านทานผลึก A โดยวิธีธรรมดา..... | 45 |
| 3.6 | แสดงผลการคำนวณค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า..... | 46 |
| 3.7 | แสดงผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์แบบวิธีธรรมดา . . | 47 |
| 3.8 | แสดงผลการคำนวณหาค่า R_H | 48 |
| 3.9 | แสดงผลการทดลองหาค่าความต้านทานของผลึก A โดยวิธีของ แวน เคอร์ เพาว์ กับแบบธรรมดา..... | 50 |
| 3.10 | เปรียบเทียบการวัด ρ แบบ แวน เคอร์ เพาว์ กับ แบบธรรมดา..... | 52 |
| 3.11 | การทดลองวัด $R_{14, 25}$ ที่สนามแม่เหล็กความเข้มต่าง ๆ | 52 |
| 3.12 | แสดงผลการคำนวณค่า R_H ที่กระแสต่าง ๆ..... | 54 |
| 3.13 | แสดงผลการวัด $R_{24, 34}$ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ | 55 |
| 3.14 | แสดงผลการคำนวณ R_H ที่กระแสต่าง ๆ..... | 55 |
| 3.15 | เปรียบเทียบการวัด R_H วิธีแวน เคอร์ เพาว์ กับวิธีธรรมดา | 56 |
| 3.16 | แสดงผลการวัดความหนาผลึก B ที่ตำแหน่งต่าง ๆ | 57 |
| 3.17 | แสดงการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าโดยวัด $R_{AB, CD}$ และ $R_{BC, DA}$ | 59 |
| 3.18 | แสดงการทดลองวัด $R_{BD, AC}$ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กต่าง ๆ ของผลึก B ที่ 191°ซ. | 61 |

รายการตารางประกอบ (ต่อ)

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 3.19 | แสดงค่า $R_{BD,AC}$ ที่สนามแม่เหล็กความเข้มต่าง ๆ | 62 |
| 3.20 | แสดงผลการทดลองวัดค่า R_H และ μ_H ที่อุณหภูมิต่าง ๆ | 65 |
| 3.21 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln T$ กับ $\ln \mu_H$ | 69 |
| 3.22 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n กับ T และ $\frac{1}{T}$ | 72 |
| 4.1 | แสดงการวัด ρ แบบ แวน เคอร์ เพาว์ เปรียบเทียบกับการวัดแบบธรรมดา..... | 76 |
| 4.2 | แสดงผลการวัด R_H แบบ แวน เคอร์ เพาว์ เปรียบเทียบกับการวัดแบบธรรมดา..... | 76 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 1.1 | แสดงสเกลของพลังงานและฟังก์ชันการกระจายของเฟอร์มิ-ไดแรก | 11 |
| 1.2 | แสดงระดับพลังงานโคเนอร์และระดับพลังงานแอกเซพเตอร์ | 12 |
| 1.3 | แสดงทิศของสนามไฟฟ้าฮอลล์ของผลึกสี่เหลี่ยม..... | 15 |
| 2.2 | แสดงรูปร่างผลึกตัวอย่างที่นิยมใช้วัดค่าสภาพนำไฟฟ้าและสัม ประสิทธิ์ของฮอลล์ในสนามแม่เหล็ก..... | 19 |
| 2.2 | ผลึกตัวอย่างรูปใด ๆ ที่ใช้วัดแบบแวน เคอร์ เพาว์..... | 21 |
| 2.3 | ผลึกตัวอย่างทรงแท่งใหม่ เส้นรอบรูปมากขึ้น..... | 22 |
| 2.4 | แสดงรูปร่างผลึก B..... | 25 |
| 2.5 | แสดงรูปร่างผลึก B ในภาชนะใส่..... | 25 |
| 2.6 ก. | แสดงภาชนะใส่ผลึก A..... | 26 |
| 2.6 ข. | แสดงภาชนะใส่ผลึก B..... | 27 |
| 2.7 | แสดงรูปอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ..... | 28 |
| 2.8 | แสดงภาชนะใส่น้ำแข็ง..... | 29 |
| 2.9 | แสดงขนาดกระบอกทองเหลืองทั้ง 2 ชั้น..... | 30 |
| 2.10 | แสดงวงจรควบคุมอุณหภูมิ..... | 31 |
| 2.11 | แสดงวงจรของเพาว์เวอร์ซัพพลายที่ไทกระแสไฟฟ้าแกว่คความรอน และการต่อ..... | 32 |
| 2.12 | การวางอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและเครื่องมือวัด..... | 33 |
| 3.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_H กับ t | 41 |
| 3.2 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ Δt | 42 |
| 3.3 | แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิควบคุมได้ (T) กับเวลาในช่วง 30 นาทีสุดท้าย..... | 43 |