

อัตราส่วนระหว่างสภาพแพร่และสภาพเคลื่อนที่ได้ สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ถูกลดอย่างหนัก



นายเจษฎา ฤกษ์พิทักษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

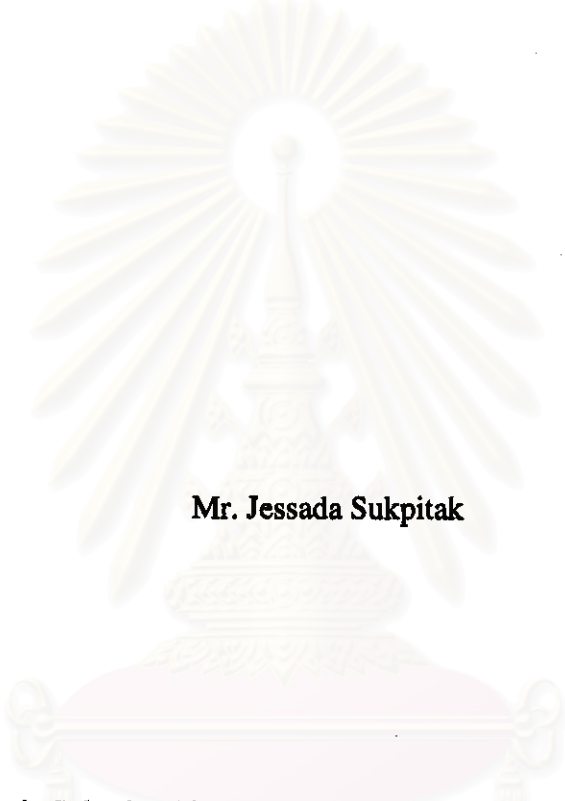
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-444-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DIFFUSIVITY-MOBILITY RATIO  
FOR HEAVILY DOPED SEMICONDUCTORS**



**Mr. Jessada Sukpitak**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Science**

**Department of Physics**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1996**

**ISBN 974-636-444-8**

Thesis Title Diffusivity-Mobility Ratio for Heavily Doped Semiconductors

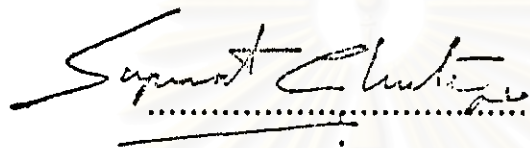
By Mr. Jessada Sukpitak

Department Physics

Thesis Advisor Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.

---

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.



..... Dean of Graduate School

(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee



..... Chairman

(Associate Professor Kitt Visoottiviseth, Ph.D.)



..... Thesis Advisor

(Associate Professor Wichit Sritrakool, Ph.D.)



..... Member

(Assistant Professor Pisistha Ratanavararaksa, Ph.D.)



..... Member

(Assistant Professor Kiranant Ratanathampan)

## C725729 : MAJOR PHYSICS  
KEY WORD: DIFFUSIVITY-MOBILITY RATIO/ HEAVILY DOPED SEMICONDUCTOR  
JESSADA SUKPITAK : DIFFUSIVITY-MOBILITY RATIO FOR HEAVILY DOPED SEMICONDUCTORS.  
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WICHIT SRITRAKOOL, PH.D. 83 PP.  
ISBN 974-636-444-8.

For heavily doped semiconductors, the diffusivity-mobility ratio is shown to be dependent on the Thomas-Fermi screening length squared. Within the Thomas-Fermi approximation and by means of the Sommerfeld expansion, we show that the diffusivity-mobility ratio at finite temperatures can be expressed as a series expansion of some function of the density of states. Furthermore, we show that the diffusivity-mobility ratio, in extremely degenerate case, is the same from the empirical result. We present numerical calculations of the diffusivity-mobility ratio as a function of net carrier concentration, by taking n-type heavily doped GaAs and using Kane's density of states as an example.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... ฟิสิกส์.....  
สาขาวิชา..... ฟิสิกส์.....  
ปีการศึกษา..... ๒๕๓๑.....  
ลายมือชื่อนิสิต..... เกษม คุ้มอักษร.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... วิชิต ศรีตรากูล.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -.....

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เจษฎา สุขพิทักษ์ : อัตราส่วนระหว่างสภาพแพร่และสภาพเคลื่อนที่ได้ สำหรับสารกึ่งตัวนำที่  
ถูกโดปอย่างหนัก ( DIFFUSIVITY-MOBILITY RATIO FOR HEAVILY DOPED  
SEMICONDUCTORS ) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิจิต ศรีตระกูล, 83 หน้า.  
ISBN 974-636-444-8.

สำหรับสารกึ่งตัวนำที่ถูกโดปอย่างหนัก เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า อัตราส่วนระหว่าง  
สภาพแพร่และสภาพเคลื่อนที่ได้เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับกำลังสองของระยะบดบัง โรมิต-เฟอร์มิและโดยการใช้  
วิธีการประมาณแบบโรมิต-เฟอร์มิ และการกระจายชอมเมอร์เฟลด์สามารถแสดงให้เห็นได้ว่า อัตรา  
ส่วนระหว่างสภาพแพร่และสภาพเคลื่อนที่ได้สามารถเขียนอยู่ในรูปของอนุกรมของฟังก์ชันที่ขึ้นกับความ  
หนาแน่นสถานะ นอกจากนี้เรายังแสดงให้เห็นได้ว่า อัตราส่วนระหว่างสภาพแพร่และสภาพเคลื่อนที่ได้  
ในระบบสถานะแผ่สุดขีดมีรูปแบบเช่นเดียวกับที่ได้จากวิธีเอ็มไพริคัล สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลขเรา  
พิจารณาเฉพาะแกแลียมอาร์เซไนด์ที่ถูกโดปอย่างหนัก โดยใช้ความหนาแน่นสถานะของเคน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....ฟิสิกส์.....  
สาขาวิชา.....ฟิสิกส์.....  
ปีการศึกษา.....๕๕๓๑.....

ลายมือชื่อนิต.....เจษฎา สุขพิทักษ์.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....วิจิต ศรีตระกูล.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## ACKNOWLEDGEMENTS



The author wishes to express his deep gratitude to his supervisor, Assoc. Prof. Wichit Sritrakool for his invaluable advice, guidance and encouragement given throughout this work. Thanks are also due to Prof. Virulh Sa-yakanit, Assoc. Prof. Jong-orn Berananda and Dr. Ahpsit Ungkitchanukit for their help in various ways.

It goes without saying to the thesis committee, Assoc. Prof. Kitt Visoottiviseth, Assist. Prof. Pisisha Ratanavararaksa and Assist. Prof. Kiranant Ratanatummapan for their reading and criticizing the manuscript.

Last but not least, he would like to express his sincere thanks to Miss Supanee Keesuwan for her help in English manuscript.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT IN ENGLISH .....	iv
ABSTRACT IN THAI .....	v
AGKNOWLEDGEMENT .....	vi
LIST OF FIGURES .....	ix
LIST OF TABLES .....	xii
CHAPTER I INTRODUCTION .....	1
1.1 Preliminary .....	1
1.2 Outline of thesis .....	3
CHAPTER II THE GENERALIZED DIFFUSIVITY- MOBILITY RATIO .....	4
CHAPTER III EMPIRICAL DIFFUSIVITY- MOBILITY RATIO .....	9
3.1 A simple accurate expression of the reduced Fermi energy for any reduced carrier density .....	9
3.2 The empirical diffusivity-mobility ratio .....	16
CHAPTER IV THE DIFFUSIVITY-MOBILITY RATIO FOR HEAVILY DOPED SEMICONDUCTORS.....	23
4.1 Screening .....	23

4.1.1 Introduction .....	23
4.1.2 Thomas-Fermi theory of screening .....	27
4.2 Heavily doped semiconductors .....	31
4.2.1 The model .....	31
4.2.2 Kane's density of states .....	35
4.3 The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors .....	45
4.3.1 The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors .....	45
4.3.2 Numerical evaluation .....	53
CHAPTER V NUMERICAL RESULTS .....	57
5.1 Numerical results .....	57
CHAPTER VI DISCUSSION AND CONCLUSION .....	72
REFERENCES .....	76
APPENDIX .....	79
CURRICULUM VITAE .....	83

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## LIST OF FIGURES

		Page
Figure 1	Kane's density of states at temperature $T = 10K$ , without compensation ( $N_a/N_d = 0.0$ ) for net carrier concentration $N_d - N_a = 1.000 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (---), $1.000 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ (— — —), $5.000 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (-----), and for free particles (————). .....	44
Figure 2	Derivative of Kane's density of states $\Phi(E)$ at temperature $T = 10K$ , without compensation ( $N_a/N_d = 0.0$ ) and net carrier concentration $N_d - N_a = 1.000 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .....	48
Figure 3	Flow chart of numerical evaluation of the diffusivity-mobility ratio. ....	56
Figure 4	Dependence of the diffusivity-mobility ratio on the net carrier concentration $N_d - N_a$ for compensation ratio $N_a/N_d = 0.0$ and temperature $T = 10K$  $D/\mu$ : The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors  $D/\mu_0$ : The empirical diffusivity-mobility ratio  $N_{\min}$ : minimum net carrier concentration for $D/\mu$ .....	60

**Figure 5**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
 on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.0$  and temperature  $T = 77K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
    heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio  
 $N_{min}$  : minimum net carrier concentration for  $D/\mu$  ..... 62

**Figure 6**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
 on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.0$  and temperature  $T = 300K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
    heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio  
 $N_{min}$  : minimum net carrier concentration for  $D/\mu$  ..... 64

**Figure 7**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
 on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 10K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
    heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio  
 $N_{min}$  : minimum net carrier concentration for  $D/\mu$  ..... 66

**Figure 8**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 77\text{K}$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
                 heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio  
 $N_{\min}$  : minimum net carrier concentration for  $D/\mu$  ..... 68

**Figure 9**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 300\text{K}$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
                 heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio  
 $N_{\min}$  : minimum net carrier concentration for  $D/\mu$  ..... 70

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## LIST OF TABLES

		Page
Table 1	Dependence of the diffusivity-mobility ratio on the net carrier concentration $N_d-N_a$ for compensation ratio $N_d/N_a = 0.0$ and temperature $T = 10K$ $D/\mu$ : The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors $D/\mu_0$ : The empirical diffusivity-mobility ratio .....	59
Table 2	Dependence of the diffusivity-mobility ratio on the net carrier concentration $N_d-N_a$ for compensation ratio $N_d/N_a = 0.0$ and temperature $T = 77K$ $D/\mu$ : The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors $D/\mu_0$ : The empirical diffusivity-mobility ratio .....	61
Table 3	Dependence of the diffusivity-mobility ratio on the net carrier concentration $N_d-N_a$ for compensation ratio $N_d/N_a = 0.0$ and temperature $T = 300K$ $D/\mu$ : The diffusivity-mobility ratio for n-type heavily doped semiconductors $D/\mu_0$ : The empirical diffusivity-mobility ratio. ....	63

- Table 4**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 10K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio .....65
- Table 5**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 77K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio .....67
- Table 6**      Dependence of the diffusivity-mobility ratio  
on the net carrier concentration  $N_d - N_a$  for compensation ratio  
 $N_a/N_d = 0.2$  and temperature  $T = 300K$   
 $D/\mu$  : The diffusivity-mobility ratio for n-type  
heavily doped semiconductors  
 $D/\mu_0$  : The empirical diffusivity-mobility ratio .....69
- Table 7**      The minimum net carrier concentration,  $N_{\min} = (N_d - N_a)_{\min}$ ,  
at which  $\xi_0^{1/2} \leq E_f - E_c$  .....71