

อัตราส่วนระหว่างช่องว่างพลังงานกับอุณหภูมิวิกฤตในตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง



นายบุญฤทธิ คุรุณาการ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-177-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**RATIO OF ENERGY GAP TO CRITICAL TEMPERATURE IN
HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS**



Mr. Boonlit Krunavakarn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Physics

Department of Physics

Graduate School

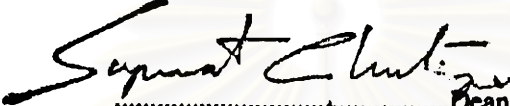
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-177-2

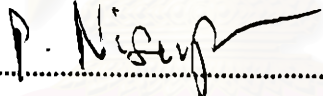
Thesis Title Ratio of Energy Gap to Critical Temperature
 in High Temperature Superconductors
By Mr. Boonlit Krunavakarn
Thesis Advisor Pornthep Nisamancephong
Thesis Co-Advisor Prof. Suthat Yoksan

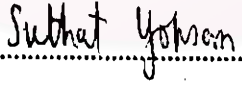
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Degree of Master of Science in Physics.

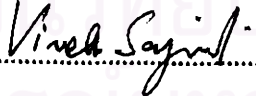

..... Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

Thesis Committee


..... Chairman
(Associate Professor Kitt Visootiviseth, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Pornthep Nisamancephong, Ph.D.)


..... Thesis Co-Advisor
(Professor Suthat Yoksan, Ph.D.)

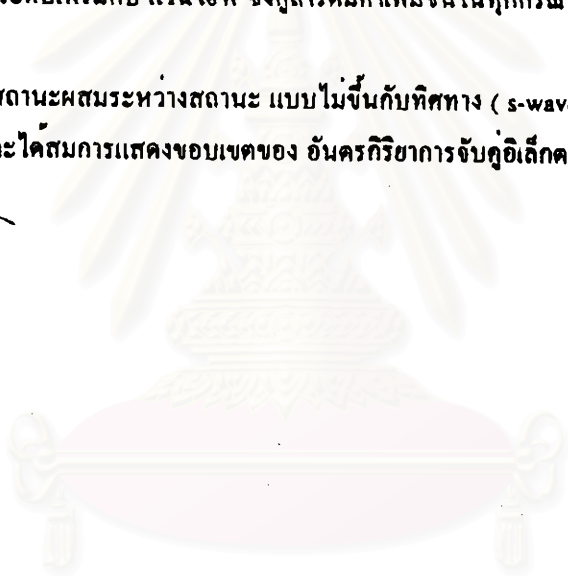

..... Member
(Professor Viruh Sa-yakanit, F.D.)


..... Member
(Professor I. Ming Tang, Ph. D.)

บุญฤทธิ คุรุหนาว : อัตราส่วนระหว่างช่องว่างพลังงานกับอุณหภูมิวิกฤตในตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง
(RATIO OF ENERGY GAP TO CRITICAL TEMPERATURE IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS) อ. ที่ปรึกษา : ดร. พรเทพ นิสามณีพงษ์, อ. ที่ปรึกษา - ร่วม : ศ. ดร. สุทัศน์ ยกส้าน 65 หน้า. ISBN 974-332-177-2

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์นี้คือเพื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างช่องว่างพลังงานกับอุณหภูมิวิกฤตในตัวนำยิ่งยวดที่มีความหนาแน่นของสถานะที่ขึ้นกับพลังงานแบบ แวนโฮฟ ซึ่งกูลาริตี โดยการใช้ทฤษฎีตัวนำยิ่งยวดของ บาร์ดีน คูเปอร์ และ ชรีฟเฟอร์ (Bardeen, Cooper, and Schrieffer, BCS) ได้พิจารณากรณีช่องว่างพลังงานมีสถานะการจับคู่ของอิเล็กตรอนเป็นแบบไม่ขึ้นกับทิศทาง (s-wave) และขึ้นกับทิศทาง (d-wave) เราสามารถหาสมการแสดงอัตราส่วนช่องว่างพลังงานกับอุณหภูมิวิกฤตเป็นฟังก์ชันของพลังงานเฟอร์มี, ความถี่เดอบาย, อุณหภูมิวิกฤต และ ระยะระหว่างระดับเฟอร์มีกับ แวนโฮฟ ซึ่งกูลาริตี ได้พบว่า อัตราส่วนช่องว่างพลังงานกับอุณหภูมิวิกฤตมีค่าลดลงเมื่อ อัตราส่วนระหว่างความถี่เดอบายกับอุณหภูมิวิกฤตมีค่าเพิ่มขึ้นและ ระยะระหว่างระดับเฟอร์มีกับ แวนโฮฟ ซึ่งกูลาริตีมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกรณี

ได้ศึกษากรณีสถานะผสมระหว่างสถานะ แบบไม่ขึ้นกับทิศทาง (s-wave) และ สถานะ แบบขึ้นกับทิศทาง (d-wave) ในตัวนำยิ่งยวด และได้สมการแสดงขอบเขตของ อันตรกิริยาการจับคู่อิเล็กตรอนทั้งสองแบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สถานะผสมเกิดได้จริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2541

บุญฤทธิ คุรุหนาว
ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา P. Niamsanjan
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม สุทัศน์ ยกส้าน

3970898423 : MAJOR PHYSICS

KEY WORD: BCS / GAP-TO- T_c RATIO / S, D-WAVE SUPERCONDUCTOR / VAN HOVE SINGULARITY / FERMI LEVEL SHIFT / MIXED ORDER PARAMETER

BOONLIT KRUNAVAKARN : RATIO OF ENERGY GAP TO CRITICAL TEMPERATURE IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS. THESIS ADVISOR : PORNTHEP NISAMANEEPHONG. Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR : PROF SUTHAT YOKSAN. Ph.D. 65pp. ISBN 974-332-177-2

The purpose of this thesis is to investigate the ratio of the energy gap to the critical temperature in a superconductor when the energy dependent density of states is of the Van Hove singularity type. By using the theory of Bardeen, Cooper, and Schrieffer (BCS) and considering energy gap having the pairing states be isotropic (s-wave) and anisotropic (d-wave), we find equations of the ratio of the energy gap to the critical temperature, T_c , as functions of the Fermi energy, the Debye frequency, ω_D , the critical temperature, and the Fermi level shift. We find that the energy gap ratio always decreases when the ratio ω_D/T_c increases and also when the Fermi level shift increases.

The existence of the mixed pairing states between the isotropic s-wave and the anisotropic d-wave states is also studied. We find an equation of the relative pairing strength interactions which demonstrates the existence of the mixed pairing states.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต บุญฤทธิ์ นุชพรภิส

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา P. Nisam

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สุทนต์ ยอขัน

Acknowledgments



I wish to express grateful thanks to Dr. Pornthep Nisamaneephong, my advisor, for his motivation, and guidance throughout the course of investigation.

I would like to express my gratitude to Prof. Suthat Yoksan, my thesis co-advisor, for his encouragement and help in various ways.

I also would like to thank Assoc. Prof. Kitt Visootiviseth, Prof. Virulh Sa-yakanit, and Prof. I. Ming Tang for serving on the thesis committee.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table of Contents

	Page
Abstract in Thai	iv
Abstract in English	v
Acknowledgments	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
Chapter 1 Superconductivity	1
1.1 Introduction	1
1.2 Zero Resistivity	1
1.3 Meissner Effect	1
1.4 Flux Quantization	2
1.5 Specific Heat	3
1.6 Isotope Effect	4
1.7 London Theory	5
1.8 BCS Theory	6
Chapter 2 High-Temperature Superconductivity	13
2.1 Introduction	13
2.2 High- T_c Superconducting Cuprates	13
2.3 Structure and Charge-Carrier Doping	14
2.4 Normal-State Properties	16
2.5 Symmetry of Superconducting Order Parameter	19
2.6 Theories of Cuprate Superconductivity	20

Chapter 3 The Van Hove Superconductors	26
3.1 Introduction	26
3.2 The Van Hove Scenario	26
3.3 Van Hove Singularity in the Density of States	28
3.4 S-Wave Gap-to- T_c Ratio in the Van Hove Scenario	33
3.5 S-Wave Gap-to- T_c Ratio in the Van Hove Scenario with the Fermi Level Shift	36
3.6 D-Wave Gap Ratio	37
3.7 D-Wave Gap-to- T_c Ratio in the Van Hove Scenario	39
3.8 D-Wave Gap-to- T_c Ratio in the Van Hove Scenario with the Fermi Level Shift	41
3.9 Mixed (S+D)-Wave Superconductivity	44
3.10 Mixed (S+D)-Wave in the Van Hove Scenario	48
 Chapter 4 Discussion and Conclusions	 56
References	61
Curriculum Vitae	65

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Tables

Table	Page
2.1 High- T_c cuprate superconductors with the maximum T_c values	15
3.1 T_c formula evaluated by using Eqs.(3.17), (3.18), and (3.20)	33
3.2 Gap-to- T_c ratio evaluated by Eq.(3.23) and compared with Eq.(3.21) ...	34
3.3 Various parameter computed for different values of the anisotropy parameter g	48



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

List of Figures

Figure	Page
1.1 Meissner effect	2
1.2 Phase diagram of the magnetic field vs. temperature	3
1.3 Graph of specific heat as a function of temperature	4
2.1 Maximum superconducting critical temperature vs. date	15
2.2 Temperature-dopant concentration (T-x) phase diagram	17
2.3 Crystal structures of La_2CuO_4 and Ln_2CuO_4	17
2.4 Fermi surface gap functions and densities of states of a superconductor	19
3.1 Gap-to- T_c ratio $R= 2\Delta(0)/T_c$ for a VHS DOS	35
3.2 Variation of reduced gap-to- T_c ratio with δ/ω_D	37
3.3 Variation of d-wave gap-to- T_c ratio with δ/ω_D	43
3.4 Phase diagram of the mixed (s+d)-wave in a VHS DOS scenario	55