# บทบาทของชั้นโลหะในตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง และการคำนวณอุณหภูมิวิกฤต

นายอิทธิภูมิ บุญพิคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

ISBN 974-578-704-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017686 1178138892

# ROLE OF METALLIC LAYERS IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS AND CALCULATION OF CRITICAL TEMPERATURE

Mr. Ittibhoom Boonpikum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Physics

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-578-704-3

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Role of Metallic Layers in High Temperature Superconductors and Calculation of Critical Temperature |
| By | Mr.Ittibhoom Boonpikum |
| Department | Physics |
| Thesis Advisor | Professor Suthat Yoksan |

---

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

.....Thavorn Vajrabhaya.....Dean of Graduate School

( Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

.....Virulh Sa-yakanit.....Chairman

( Professor Virulh Sa-yakanit, F.D.)

.....Suthat Yoksan.....Thesis Advisor

( Professor Suthat Yoksan, Ph.D.)

.....Kitt Visoottiviseth.....Member

( Associate Professor Kitt Visoottiviseth, Ph.D.)

.....Rassmidara Hoonsawat.....Member

( Associate Professor Rassmidara Hoonsawat., Ph.D.)

.....Pisitha Rattanavararaksa.....Member

( Assistant Professor Pisitha Rattanavararaksa, Ph.D.)

ITTIBHOOM BOONPIKUM : ROLE OF METALLIC LAYERS IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS AND CALCULATION OF CRITICAL TEMPERATURE. THESIS ADVISOR : PROF.SUTHAT YOKSAN, Ph.D., THESIS CO-ORDINATOR :APISIT UNGKITJANUKIT, Ph.D. 76 pp. ISBN 974-578-704-3

The purpose of this work is to investigate the role of metallic layers in high temperature superconductors. A model consisting of three layers in one unit cell is developed. By assuming the existence of various layer couplings (coherent pair transition and direct hopping) between layers, one finds that the bounding layers play significant roles in renormalizing the interaction constants of the system.

Within the framework of this model, the major results and predictions are as follows: the introduction of a small interlayer hopping matrix element always reduces the critical temperature $T_c$, the Josephson-like coupling between layers always enhances $T_c$, the possible proximity effect in the neighbouring layer plays an important role in the enhancement of $T_c$.

Our formulas cover the cases of one superconducting layers, two superconducting layers, one insulating layer between two superconducting layers, three similar superconducting layers and one superconducting layer between two insulating layers.

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวเพียงแผ่นเดียว

อิทธิภูมิ บุญพิคำ : บทบาทของชั้นโลหะในตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง และการคำนวณอุณหภูมิวิกฤต (ROLE OF METALLIC LAYERS IN HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS AND CALCULATION OF CRITICAL TEMPERATURE. อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. สุทัศน์ ยกส้าน, อ. ผู้ประสานงาน : ดร. อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ, 76 หน้า.
ISBN 974-578-704-3

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาบทบาทของชั้นโลหะในตัวนำยิ่งยวดอุณหภูมิสูง ที่มีผลต่ออุณหภูมิวิกฤต เมื่อพิจารณาแบบจำลองที่ประกอบด้วยชั้น 3 ชั้น ในหนึ่งหน่วยเซลล์ โดยการสมมติว่ามีอันตรกริยาการจับคู่ระหว่างชั้นหลายรูปแบบ (มีการกระโดดของอิเลกตรอนระหว่างชั้นแบบคู่และแบบเดี่ยว) ได้พบว่าชั้นที่อยู่รอบชั้นตัวนำมีบทบาทสำคัญยิ่ง ในการปรับค่าคงที่อันตรกริยาต่างๆของระบบ

จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองนี้พบว่าผลลัพธ์ที่สำคัญและคำทำนายเป็นดังนี้ : การที่มีการกระโดดเดี่ยวของอิเลกตรอนระหว่างชั้นน้อยๆ จะทำให้อุณหภูมิวิกฤต $T_c$ ลดลงเสมอ การจับคู่ระหว่างชั้นในทำนองโจเซฟสันจะเพิ่มค่า $T_c$. ปรากฏการณ์พรอกซิมิตี ในชั้นข้างเคียงมีบทบาทที่สำคัญต่อการเพิ่ม $T_c$.

สูตรที่ได้ยังครอบคลุมกรณีต่างๆดังนี้ คือ กรณีตัวนำยิ่งยวด 1 ชั้น, กรณีตัวนำยิ่งยวด 2 ชั้น กรณีฉนวนที่อยู่ระหว่างชั้นตัวนำยิ่งยวด 2 ชั้น, กรณีตัวนำยิ่งยวด 3 ชั้น ที่เหมือนกัน และกรณีชั้นตัวนำยิ่งยวดอยู่ระหว่างฉนวน 2 ชั้น.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่อนิสิต อิทธิภูมิ บุญพิคำ

สาขาวิชา ฟิสิกส์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สุทัศน์ ยกส้าน

ปีการศึกษา 2533 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his sincere appreciation to Professor Dr.Suthat Yoksan for his helpful and valuable suggestion, his encouragement and the patience throughout this research.

Thanks also to Dr.Apisit Ungkitjanukit for acting as the thesis co-ordinator, to Professor Dr. Virulh Sa-yakanit, Associate Professor Dr. Kitt Visoottiviseth, Associate Professor Dr. Rassmidara Hoonsawat and Assistant Professor Dr. Pisitha Rattanavararaksa for serving on the thesis committee.

TABLE OF CONTENTS


| | | page |
|---|---|---|
| ABSTRACT | | iv |
| ACKNOWLEDGEMENTS | | vi |
| TABLE OF CONTENTS | | vii |
| LIST OF TABLES | | ix |
| LIST OF FIGURES | | x |
| Chapter 1 | Introduction | 1 |
| | Basic Properties of Conventional Superconductors | 3 |
| | Basic Structure of High-temperature Superconductors | 7 |
| | Some Features of $La_{2-x}Ba_x(Sr_x)CuO_4$ and $LaBa_2Cu_3O_7$ | 8 |
| | Bi-Ca-Sr-Cu-O and Tl-Ca-Ba-CuO Systems | 11 |
| | Basic Properties of High Temperature Superconductors | 16 |
| Chapter 2 | Theories of Superconductivity | 19 |
| | BCS Theory | 19 |
| | Theories of High Temperature Layered Superconductors | 27 |
| | Labbe and Bok's Model | 28 |
| | Ihm and Yu's Model | 30 |
| | Wheatley, Hsu and Anderson's Model | 34 |

page

Schneider and Baeriswyle's Model..... 34

Birman and Lu's Model..... 37

Chapter 3 Boonpikum and Yoksan's Model..... 42

Chapter 4 $T_c$ Equations..... 58

Chapter 5 Discussion and Conclusion..... 69

BIBLIOGRAPHY ..... 70

APPENDIX ..... 71

VITA .... ..... 76

# LIST OF TABLES


Table page

2.1 The calculated $T_c$ for $Tl_2Ca_{1-1}Ba_2Cu_1O_x$ and the parameters used in Eq.(2.34). In each row $\hbar\omega$ is first chosen and $\lambda_a$ and $\lambda_{er}$ are determined to fit experimental values(*)..... 31

2.2 Measured $T_c$ values for compounds of the Bi-O and Tl-O family containing m=2,4 and 6 $CuO_2$ layers per unit cell, values for the c lattice parameter..... 36

2.3 Transition temperature for monolayer polytypes $-(CuO_2)_N-$..... 40

2.4 Transition temperature for polytypes of the TlBa class..... 40

## LIST OF FIGURES


Figure page

1.1 Resistance versus temperature for mercury. The graph follows that of a normal metal above the critical temperature. The dc resistance drops abruptly to zero at the critical temperature, which is 4.15 K for mercury..... 2

1.2 Evolution of the superconductive transition temperature..... 4

1.3 Crystal structure of some high-$T_c$ superconductors (a) $YBa_2Cu_3O_7$. (b) Ba-doped $La_2CuO_4$. (c) $Bi_2Sr_2CuO_6$ 6

1.4 Crystal structure of Bi-Sr-Ca-Cu-O system..... 9

1.5 Structure of $La_{2-x}Ba_x(Sr_x)CuO_4$..... 10

1.6 Structure of $YBa_2Cu_3O_7$..... 11

Figure page

1.7 Resistivity data of the Ba-Ca-Sr-Cu-O system..... 12

1.8 Structure of $Bi_2(Ca,Sr)_3Cu_{8+\delta}$ ..... 13

1.9 Structure of $Tl_2CaBa_2Cu_2O_{8+\delta}$ ..... 14

1.10 Schematic structure of the Bi-Ca-Si-Cu-O and Tl-Ca-Ba-Ca-O families. The $T_c$ values are shown in parentheses next to the number of Cu-O layers(n)..... 15

1.11 Variation of $T_c$ with the number of Cu-O layers, in the Bi-Ca-Sr-Cu and Tl-Ca-Ba-Ca system..... 16

2.1 $\ln T_c$ versus $-(1/\sqrt{n})$, n is the number of $CuO_2$ adjacent planes in the unit cell..... 29

2.2 Schematic diagram of the coupling interactions in Ihm and Yu's model for n=3. Each horizontal line presents a CuO layer. $V_a$ exists in each layer... 30

2.3 The dependence of $T_c$ on d. The curve 1 coresponds to one set of layers and the curve 2 to infinite set of layers..... 33

Figure page

2.4 Schematic sketch of the layered unit cell $s_n$ is the spacing between layers n and n+1 coupled by a single-particle tunneling of strength t, $c = s_1+s_2+...+s_n$ is the lattice constant in the z-direction..... 35

2.5 $\ln(T_c/T_o)$ versus $s^{2/3}$. s denotes the mean layer spacing, $T_o$=1 K, $L_o$=1 A. Squares correspond to experimental values taken from Table 2.2 for m=2,4 and 6 $CuO_2$ layers in the Bi-O and Ti-O family..... 37

2.6 Model for polytypes of different classes Polytypes N=1,2,3 are illustrated..... 39

3.1 Feynman diagrams where there is a strong interlayer scattering interaction between $CuO_2$ layers, and a strong intralayer scattering interaction within the layer..... 42

3.2 Schematic representation of the layered structure showing a superconducting plane (solid line) and "non-superconducting planes" (empty lines)..... 43

Figure page

4.1 One superconducting layers per unit cell..... 58

4.2 Two superconducting layers per unit cell..... 59

4.3 Three identical layers per unit cell..... 61

4.4 A Superconducting layer between two insulating layers..... 63

4.5 An insulating layer between two superconducting layers..... 63