

C. KITTEL

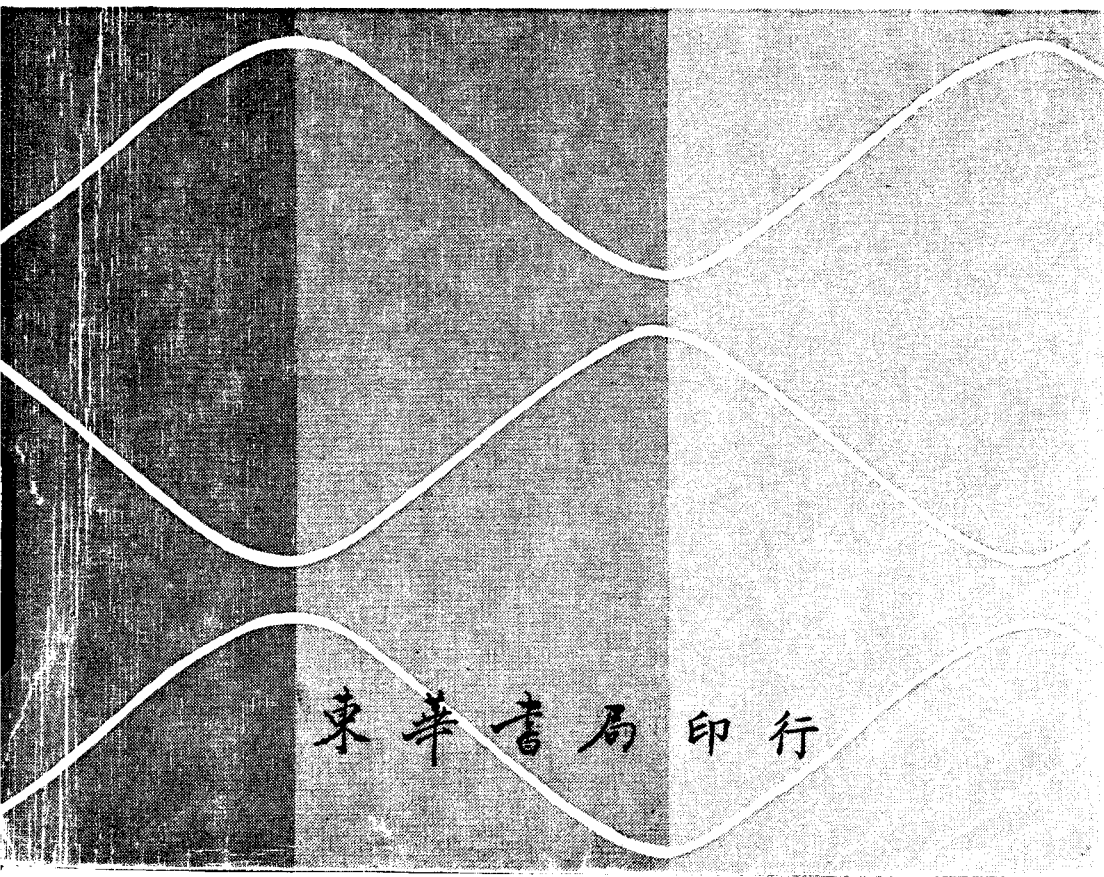
*Introduction to Solid State Physics*

FOURTH EDITION

上 册

譯 者

彭望謙 冉長壽



東華書局印行

# 固態物理學導論

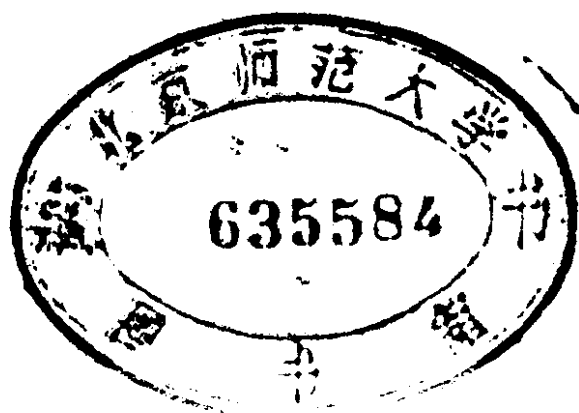
781/168/12 上 册

著 者

CHARLES KITTEL

譯 者

彭望謙 冉長壽



東華書局印行



---

版權所有・翻印必究

中華民國六十二年七月初版

中華民國六十八年四月二版

大專  
用書 固態物理學導論 (全二冊)

上册定價新臺幣壹佰貳拾元

(外埠酌加運費滙費)

|       |                |
|-------|----------------|
| 原 著 者 | CHARLES KITTEL |
| 譯 者   | 彭 望 謙 冉 長 壽    |
| 發 行 人 | 卓 鑫 燕          |
| 出 版 者 | 臺灣東華書局股份有限公司   |
|       | 台北市博愛路一五〇號     |
| 印 刷 者 | 合 興 印 刷 廠      |
|       | 台北市和平西路三段二〇七號  |

---

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號  
(61097)

## 第四版序

本書提供固態物理學重要部份的初步論述、本書可作為主修科學和工程的大學部四年級學生暨初級研究生的固態物理學和材料科學課本。必需的基礎是修過近代原子物理學。

固態物理學大部分討論原子和分子，由於其在晶體內的結合和週期性的排列，所呈現的顯著性質。這些性質可由固體的簡單模型而加以瞭解。真正的固體和非晶形的固體是非常複雜的，但簡單模型的功效和用處是不可忽視的，

大約第三版的一半是被重寫過而產生出第四版，並且增加了一百四十個新插圖。主要的變更是：

1. 併列介紹國際標準制 (SI) 單位和厘米-克-秒-高斯制 (CGS-Gaussian System) 單位，本課本原來是以厘米-克-秒-高斯制單位寫的，現在特別併用兩種單位制。其限制在以下討論。國際標準制和米-仟克-秒-安制 (MKSA system) 在實質上是相同的。

2. 一些新的論題包含固態雷射 (lasers)，約瑟夫森 (Josephson) 結合點，通量的量子化，墨特 (Mott) 變遷，費米 (Fermi) 液體，季耐 (Zener) 隧道作用，康斗 (Kondo) 效應，螺形波 (helicons)，和磁共振的應用等，有些作概略地敘述或有些參置於習題中。在處理電磁傳播，光頻態式，電漿子 (plasmons)，屏蔽作用，和偏極子 (polaritons) 時，我們介紹了介電函數當作統一的論題。

3. 關於晶體繞射，能帶，超導性，和磁共振各章皆大部分重寫過，不斷地努力以寫成一清晰的，易於理解的，和插圖豐富的課本以應學生們的需要。我曾試著解決每一個學生所告訴我的困難。

4. 固態數據各表中的數值都作了相當的擴充和改訂。共有四十個廣為應用的表分列在本書中。

如第三版一樣，可由課本中看出，能帶的研究，超導性，磁共振，和中子散射方法都有很大的進展，對於聲子，電漿子，極子 (polaron)，磁量子 (magnons)，和激子 (excitons) 等基本激發特予著重。

祇要有所不同時。差不多每一重要方程式都以國際標準制和厘米-克-秒-高斯制兩種單位重覆地表出。例外的是一些數字表，高深的論題，每章的摘要，和書內較長的節段。這些地方祇要有一項單獨的轉換指明(如以 1 代 C 或  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  代 1) 即足以由厘米-克-秒 (CGS) 制轉換至國際標準制 (SI)。各數據表都以慣用的單位給出。有數章，其章節目錄各頁含有所採慣用單位的註記以使其同時並用簡單而自然。習題可依讀者或教師的意思而採取任何一種單位制以作解答。

我略加了一些歷史的敘述，因為固態物理學對於我們四周的自然世界供獻了量子論的最直接和成功的應用。由於片斷的記錄，我常想到喬爾治留司波爾者斯 (Gorge Luis Borges) 的話：“那些有益處的供獻不應再歸諸於任何人……而應歸功於語文或傳統。”

諸章的順序乃是為了一學期的課程易於選擇材料而安排的。這可能包括於 1 到 11 各章大部分材料，在以後各章或其它地方有一些附加的論題。對於後邊諸章所選出的論題不可視為企圖去衡量最近活動領域的重要性。單獨一本教科書不能代表最近創造的活動範圍。有關於本書未能論及的題目和詳細的目錄可參考優異的塞茲-特伯樂-愛潤瑞施 (Seitz-Turnbull-Ehrenreich) 集裏的論文。在該集裏約有一萬篇高水準的論文可資引用。我曾經試著選出一些有助益的英文樣本，但功效不大。此集早年各版的法、德、西班牙、日本、俄、波蘭、匈牙利，和阿拉伯

諸文字的翻譯本常可提供進一步的參考。

較長的或艱難的習題都註以星標。符號  $e$  表示質子上的電荷： $e=4.80 \times 10^{-10}$  靜電單位 (esu)  $=1.60 \times 10^{-19}$  庫倫 (C)。符號 (18) 表示當時一章中方程式的數目 18, 但 (3.18) 則表示第 3 章的第 18 方程式; 數字也是用同樣方法來表示的。在向量上的脫字符號或“帽號”, 如  $\hat{K}$ , 則表示一單位向量。

本版的籌備經由很多同仁和朋友們的合作方克順利成功。我願意提出一些有供獻的人; 但是沒有空間全部列出。另需致謝的是 T. Nagamiya, V. Heine, D.F. Holcomb, C.H. Townes, A.R. Verma, U. Essmann, H. Träuble, P. W. Montgomery, K. Gshneidner Jr., H. P. R. Fredrikse, W. Känzig, F. A. E. Engel, C. Quate, C. Y. Fong, P. G. Angott, G. Thomas, R. W. De Blois, H. E. Stanley, S. Geller, R. Cahn, R. Gray, P. Richards, 和 L. Falicov。部分原稿是由 W. L. McLean 和 Margaret Geller 覆閱的, 全部原稿是由 Robert Kleinberg 覆閱的。我不知道 Madeline Moore 太太沒有我是否可寫出此書, 可是沒有她我確實寫不出此書來。Robert Goff 負責本書精彩的和引入的設計。

在第三版的序裏曾致下列的謝意。

“全部原稿由於 Marvin L. Cohen 和 Michael Millman 詳盡地批評而深受影響; 對他們應致最大的謝意。蒙 Ching Yao Fong 和 Joseph Ryus 關心地閱讀了連續稿件, 習題是由 Leonard Sander 校核過的。每一章皆由 Adolf Pabst, Charles S. Smith, David Templeton, Raymond Bowers, Sidney Abrahams, Earl Parker, G. Thomas, 和 M. Tinkham 覆閱過。蒙 Walter Marshall 慨然準備了中子繞射結果的廣泛精選。歷史介紹的準備乃蒙 Adolf Pabst, P. P.

Ewald, Elizabeth Huff, Muriel Kittel, Georgianne Titus, 和高級師範學校 (Ecole Normale Supérieure) 的物理圖書館長的惠助。我要感謝 Leo Brewer, R. M. Bozoth, Norman Philips, Bernd Matthias, Vera Compton, M. Tinkham, Charles S. Smith, E. Burstein, F.P. Jona, 和 S. Strässler 各位對各表列數值選擇的實驗數據所給予的具有經驗的忠告。插圖的展示首蒙 Ellis Meyers 惠助, 後由 Felix Cooper 完成。各種照片和數字是值得贊揚的, 這些都是由於 Robert van Nordsstrand, T. Geballe, W. Parrish, Betsy Burleson, I. M. Templeton, 和 G. Thomas; 還有 H. McSkimin, H. J. Williams, R. W. De Blois, E. L. Hahn, A. von Hippel, B. N. Brockhouse, R. C. Miller, R.C. Le Craw, E. W. Müller, P. R. Swann, G. E. Bacon, G.M. Gordon, 和 Alan Holden 各位特別惠助而加以收集的。

”感謝 Yvonne Tsang, Thomas Bergstesser, 和 Philip Allen, 蒙他們惠允使用登在封面上照片。

伯克萊, 加利福尼亞。

基泰爾

C. Kittel

## 告 讀 者

第一和二章內，晶體結構分析是具有基本性的。在第二章內所示予的每一概念，於能帶和半導體各章中皆加重利用；對於倒數晶格和布瑞牢因 (Brillouin) 區尤為如此。在高級論題 A 中對 X-射線繞射所發展的一般方法又重覆於第九章中，作為電子能帶論的基礎。在初步研讀時，第四章可略去。第五和六章討論到在晶體內彈性波的速度，量子化，和交互作用；在以後的論題中論及布瑞牢因區內振動態勢的計算和每單位頻率範圍內振動態勢的數目。

第七，八，九，和十章乃專論金屬內的電子。論及能帶的第九和十章是本書中最重要的兩章，並反映在此領域中最近研究的情勢。布羅克 (Bloch) 理論的證明是瞭解這些章的中心。在準備論及半導體的第十一章時，特別小心地討論了電洞 (holes) 的性質。

由 BCS 理論(譯者註：BCS 理論係指1957年 Bardeen, Cooper, 和 Schrieffer 三氏所發表的一篇有關超導性一般量子論的基礎理論。)的立場來看，在討論超導性的第十二章內給出了重要的實驗事實，不過以本書的水準是不可能將此理論作有意義的推導；可參考著者的固體量子論 (Quantum theory of solids) 或季曼 (Ziman) 所著的書。第十三到十七章乃專論固體的介電質和磁的性質，第十八章論及激子 (excitons) 和光學性質；並包含對固態雷射 (lasers) 的討論。最後兩章 (19, 20) 大部分討論固體的缺陷，可在方便的時候研讀。



# 一般參考資料

## 原子物理學背景

馬克包恩 (MaxBorn), 原子物理學 (Atomic physics), 哈福奈 (Hafner), 紐約 (New York), 第七版, 1962

司普老 (R. L. Sproull), 近代物理學 (Modern physics), 威萊 (Wiley), 第二版, 1963

## 統計物理學背景

基泰爾 (C. Kittel), 熱物理學 (Thermal physics), 威萊, 1969。  
引用時以 TP 表示。

## 結晶學

菲力普斯 (F. C. Philips), 結晶學導論 (An introduction to crystallography), 威萊, 第三版, 1963

奈氏 (J. F. Nye), 晶體的物理性質: 以張量和矩陣表示 (Physical properties of crystals: their representation by tensors and matrices) 牛津 (Oxford), 1957

## 問題集錦

苟勒斯米得 (H. J. Goldsmid) 編, 固態物理學問題 (Problems in solid state physics) 學校出版社, 1968

## 高級叢書

塞茲 (F. Seitz), 特伯樂 (D. Turnbull), 和愛潤瑞施 (H.

Ehrenreich), 固態物理學, 高級研究和應用 (Solid state physics, advances in research and applications), 學校出版社。引用時以固態物理學表示。

### 高級課本

皮爾斯 (R. E. Peierls), 固體量子論 (Quantum theory of solids), 牛津, 1955

基泰爾 (C. Kittel), 固體量子論 (Quantum theory of solids), 威萊, 1963。引用時以 QTS 表示。

季曼 (J. M. Ziman), 固體論的原理 (Principles of the theory of solids), 劍橋 (Cambridge), 1964

### 數值表

美國物理學會手冊 (American Institute of Physics Hand book), 馬格繞 - 希爾 (McGraw-Hill), 第三版, 1971

### 文獻索引

在此領域中, 早年工作者的原文大部都易在巨著科學書目叢書稱為 Poggendorf 者內找出; 此書包括最近100年或更多的作品。最有價值近代的書目參考是科學引證索引 (Scientific citation index)。對特殊資料的參考可查化學摘要 (Chemical abstracts) 的公式索引和物理摘要 (Physics abstract) 及固態摘要 (Solid state abstract) 的題目索引。好的參考資料常常可由物理學進展報導 (Reports on progress in physics), 固態科學評論 (Critical reviews in solid state science), 固態物理學 (Solid state physics) (參閱上述), 近代物理學中可帕潤者論文集 (Springer tracts in modern physics), 近代物理學評論 (Reviews of Modern physics), 蘇維埃物理學 (Soviet Physics)

(Uspekhi)，固態物理學評論 (Comments on Solid State Physics)，  
和物理學的推進 (Advances in Physics) 諸書的評論題目中獲得。

## 高級論題（見下冊附錄）

- A 在週期結構中電磁波的傳播
- B 范得瓦交互作用的推導
- C 軌道密度的范何夫奇點
- D 自由電子費米氣體的波向量倚變介電函數
- E 費米-狄拉克分佈
- F 金屬中電子的緊束近似法
- G 施加電和磁場時在波向量空間和實際空間內粒子的運動
- H 墨特變遷
- I 包含場動量, 規標轉換, 和軌道量子化的向量位
- J 超導性環裏的通量量子化
- K 約瑟夫森超導體隧道效應
- L 超導能隙的 BCS 理論
- M 磁性量子論的論題

# 上 冊 目 錄

## 主要數據表索引

## 一些普通的參考資料

|    |                   |         |
|----|-------------------|---------|
| 1  | 晶體結構.....         | 1~58    |
| 2  | 晶體繞射和倒數晶格.....    | 59~125  |
| 3  | 晶體結合.....         | 126~177 |
| 4  | 彈性常數和彈性波.....     | 178~210 |
| 5  | 聲子和晶格振動.....      | 211~262 |
| 6  | 絕緣體的热性質.....      | 263~311 |
| 7  | 自由電子費米氣體 I .....  | 312~350 |
| 8  | 自由電子費米氣體 II ..... | 351~383 |
| 9  | 能帶 I .....        | 384~418 |
| 10 | 能帶 II .....       | 419~475 |
| 11 | 半導體晶體.....        | 476~526 |

# 主要數據表索引

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 1-4  | 元素的晶體結構, 附晶格參數            | 52  |
| 1-5  | 元素的密度和原子的密集度, 附最近鄰距離      | 53  |
| 3-1  | 元素的內聚能                    | 128 |
| 3-2  | 惰氣晶體的性質                   | 132 |
| 3-3  | 元素的游離能                    | 138 |
| 3-4  | 負離子的電子親合勢                 | 152 |
| 3-5  | 鹼性鹵素晶體的性質, 附 NaCl 結構      | 161 |
| 3-6  | 鍵的部分游離性質                  | 165 |
| 3-7  | 單共價鍵的能量數值                 | 165 |
| 3-8  | 原子和離子的半徑                  | 173 |
| 3-10 | 碳-碳鍵的長度和能                 | 174 |
| 4-1  | 元素的容積彈性係數和壓縮係數            | 194 |
| 4-2  | 立方晶體的彈性倔强係數               | 200 |
| 5-1  | NaCl 和 CsCl 式晶體的紅外線晶格振動參數 | 252 |
| 6-1  | 德拜溫度 $\theta_0$           | 288 |
| 6-2  | 線熱膨脹係數                    | 294 |
| 6-3  | 聲子平均自由路程                  | 295 |
| 7-1  | 計算的金屬自由電子費米面參數            | 325 |
| 7-2  | 金屬的電子熱容量常數 $\gamma$       | 335 |
| 7-3  | 金屬的電導係數和電阻係數              | 341 |
| 7-4  | 實驗羅倫茲數                    | 348 |

|      |                   |     |
|------|-------------------|-----|
| 8-1  | 鹼金屬的紫外線透射.....    | 358 |
| 8-2  | 金屬內電漿子能量.....     | 363 |
| 8-3  | 金屬赫爾常數 .....      | 378 |
| 11-1 | 半導體能隙.....        | 484 |
| 11-2 | 半導體的載子游動率.....    | 493 |
| 11-5 | 電子和電洞的有效質量.....   | 512 |
| 11-6 | 極子耦合常數和質量.....    | 519 |
| 11-7 | 半金屬中電子和電洞密集度..... | 521 |

# 1

## 晶 體 結 構

|                    |    |
|--------------------|----|
| 原子的週期排列 .....      | 7  |
| 晶體平移向量和晶格 .....    | 7  |
| 對稱手續 .....         | 12 |
| 晶基和晶體結構 .....      | 13 |
| 原晶胞 .....          | 16 |
| 晶格的基本類型 .....      | 19 |
| 平面晶格類型 .....       | 21 |
| 立體晶格類型 .....       | 27 |
| 在晶體內平面的位置和方位 ..... | 31 |
| 晶胞內點的位置 .....      | 34 |
| 簡單晶體結構 .....       | 37 |
| 氯化鈉結構 .....        | 37 |
| 氯化銫結構 .....        | 38 |
| 六角密疊結構 .....       | 40 |
| 金剛石結構 .....        | 41 |
| 立方硫化鋅結構 .....      | 42 |
| 六角硫化鋅結構 .....      | 44 |



|                 |    |
|-----------------|----|
| 非理想晶體結構的發生..... | 46 |
| 五角形的滋長.....     | 46 |
| 雜亂堆積和多型狀態.....  | 49 |
| 晶體結構數據彙集.....   | 51 |
| 摘要.....         | 55 |
| 習題.....         | 55 |
| 參考資料.....       | 57 |

註：1Å=1 埃 (*angstrom*)= $10^{-8}$  厘米= $10^{-10}$ 米。晶體晶格參數有時以  $kx$ —單位表出，1.00208  $kx$ 單位=1埃。