

科學圖書大庫

固態物理學概論

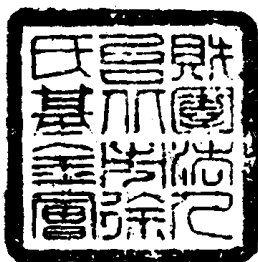
譯者 翁上林 校閱 王亢沛

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年三月七日三版

固態物理學概論

基本定價 5.60

譯者 翁上林 國立台灣大學理學士
校閱 王亢沛 國立台灣大學物理學系客座教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 負責人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 負責人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

譯 序

固態物理的研究，發軔於本世紀初期，而燦爛於六十年代。其間歷經暗淡，迭遭挫折；及至脫穎而出，連獲數屆諾貝爾物理學獎，不僅震撼了物理界，更觸發了一連串電子工業的大革命，給予民生經濟難以估計的衝擊與興革。

然而我國有關固態物理的著作，尙付缺如，譯者自台大物理系畢業後，即欲完成一部固態物理概論的譯述，以期拋磚引玉，使學術界能重視此一新興科學，將有關世界名著，廣爲引介，蔚爲風氣；幸蒙王允沛老師的鼓勵、指導，選譯 C. Kittel 所著之“固態物理學概論”，復承徐氏基金會支持出版，至爲感佩。

本書可說是一本固態物理入門的經典之作。其涉獵之廣與立論之精闢，令人擊節。譯者儘量使譯文深入淺出，並顧及信、達、雅之要求，以適合一般讀者之閱讀與吸收。原書一氣呵成，由晶體結構而至晶體缺陷，使人得以一窺固態物理之全貌；除少數章節較爲艱深外，其餘皆具觀念與常識上之價值，實爲一本不可多得的好書。

譯者學殖荒陋，謬誤之處尙望學者先進不吝教正。

再者，譯者願藉序端，發抒內心兢業之心懷：謹以此書譯獻給那養我、育我、愛我，却未及接受一日反哺之報的先父，並以此書獻給我那偉大的母親。同時，並願獻諸社會廣大的同好者！

翁 上 林 謹識
民國六十二年三月

第四版原序

本書就“固態物理”的主要內涵逐一地作基本上的解說。主要是給大四及理工學院研究所的學生作為他們研習固態物理和材料科學的教科書之用。當然亦可作為社會一般人士及同好者自修自學之用；所需要的背景是要具有近代原子物理學的知識。

“固態物理”所研究的主要是那些由於原子及分子的結合及其在晶體內有規則的週期排列所表現出來的奇異性質。利用簡單的固體模型，我們就可以了解這些性質；然而在實際上，真實固體及非晶形固體的複雜程度遠非吾人所能想像，因此對於這些模型的效力，我們仍無法給予過高的估價。

關於本書（第四版）的內容：除了重寫第三版幾乎一半的內容外，還加入了大約一百四十多個新的插圖和例證。至於主要的改變是這樣的：

1. 在單位系統方面，除原來的CGS制外，並附加國際單位系統（SI），使讀者能更加瞭然其內涵。國際單位系統主要是和MKS制相同的。

2. 新的論題，包括固態雷射、約瑟夫森連接區（Josephson junctions）、通量量子化（flux quantization）、莫特轉變（the Mott transition）、費米液體、齊納穿隧（Zener tunneling）、康德效應（Kondo effect）、“大喇叭”觀念（helicons）、及磁共振的應用等，都以一番或簡或問的方式來介紹。同時更以介電函數作為主題，來貫串電磁傳播、光學方式、離體子、遮蔽效應、及極性子（polaritons）的理論。

3. 有關晶體繞射、能帶、超導性、以及磁共振的章節大部份都再重頭寫起，期使學生對於這些理論和現象能更了解、更明白、更豁然貫通！

4. 有關固態的各種數據表都予以相當的修改和擴充，並分別列在本書有關的章節中。

關於能帶理論、超導電性、磁共振 ρ ，及中子散射法的重大進展，可在本書中一覽無遺。另外本書還強調一些基本的激發態：聲子（phonons）、離體子（plasmons）、偏極子（polarons）、磁子（magnons）、及激子（excitons）等。

幾乎所有重要的方程式都用 SI 和 CGS 單位系統同時表示出來，不管是形式有別，或僅係數不同（如 1 換成 C 或 $1/4\pi\epsilon_0$ 換成 1 等）。

此外，我還附加了一些有關歷史的材料，因為固態物理可以說是量子論應用到我們整個自然世界中最直接而又最成功的一門學問。在我所知的一些雋永言語中，我時常憶起 Jorge Luis Borges 所說的：「美好不再屬於個人……而是屬於語言或傳統。」

本版得以完成，我要由衷地感激那些愛護我、關懷我，和幫助我的同事和朋友，如果沒有他們，我真不知如何完成此書，在此我謹向他們申致最大的謝忱和致意，願上帝祝福他們。

季 德 C. Kittel
於 加州 柏克萊

致 讀 者

第一章和第二章對晶體結構的分析均係基本概念，尤其在第二章所發展出來的每一種觀念，都將大大地應用於其後有關能帶和超導體理論的章節中；特別是反晶格和布里元區的觀念。第四章在初讀時可以跳過去。第五章和第六章是討論晶體內彈性波的速度、量子化、和交互作用等問題；在這些論題中，和後面章節有關的是布里元區內運動方式 (modes) 的計算，以及每單位頻率範圍內的方式數目等。

第七、八、九、十章則討論金屬內的電子。第九章和第十章對能帶的討論，在本書中至為重要；其推衍的過程就教科書而論，頗為新穎，但却能反映出當前在這方面的研究態度。布勞克定理的證明是了解本章的一個主要關鍵。有關電洞性質的討論，我們更不放鬆，期使讀者在研讀第十一章的半導體時，能先有一清晰的基本概念。

第十二章所討論的超導電性，可以說給予 BCS 理論一些非常重要的實驗事實，但在本書的程度內，我們無法將該理論作一番實際上的推導，如果讀者有興趣的話，可參看拙著“固體量子論”(Quantum theory of solids)，或由 Ziman 所著的“固體理論原理”一書。第十三章到第十七章討論固體的介電和磁性質。第十八章則討論激子和光學性質；包含了固態雷射的討論。最後兩章(十九和二十)大部分在討論固體的缺陷問題，而且可以在任何時期研讀。

高深論題 (註：本論題使用CGS單位制)

- A 電磁波在一週期性結構中的傳播。
- B 凡得瓦交互作用的導法。
- C 軌道密度中的凡荷夫奇點。
- D 自由電子費米氣體與波矢有關的介電方程式。
- E 費米 - 狄悅克分布。
- F 金屬內電子的緊密結合近似法。
- G 在外加電場和磁場的作用下，粒子在波矢空間與實際空間中的運動。
- H 莫特轉變。
- I 向量位，包括場動量，規範變換，及軌道量子化。
- J 超導電環內的通量量子化。
- K 約瑟夫森超導體穿隧效應。
- L 超導電能量間隙的BCS理論。
- M 有關磁學量子論的幾個論題。

中英名詞索引

重要附表索引

- 1.4 元素的晶體結構，並附晶格參數。
- 1.5 元素的密度和原子濃度，並附最鄰近者之距離。
- 3.1 元素的內聚能。
- 3.2 惰氣晶體的性質。
- 3.3 元素的游離能。
- 3.4 負離子的電子親和力。
- 3.5 鹵化鹼晶體（具 NaCl 結構）的性質。
- 3.6 價鍵的部份離子性。
- 3.7 單共價鍵的能量值。
- 3.8 原子和離子半徑。
- 3.10 碳 - 碳鍵長和能量。
- 4.1 元素的體積彈性係數和壓縮係數。
- 4.2 立方體的彈性倔强常數。
- 5.1 NaCl 和 CsCl 型晶體的紅外晶格振動參數。
- 6.1 德拜溫度 θ 。
- 6.2 線性熱膨脹係數。
- 6.3 光子平均自由程。
- 7.1 金屬自由電子費米表面參數的計算值。
- 7.2 金屬的電子熱容量常數 γ 。
- 7.3 金屬的電傳導係數和電阻係數。
- 7.4 羅倫滋數之實驗值。
- 8.1 鹼金屬內的紫外傳遞。
- 8.2 金屬內的離體子能量。
- 8.3 金屬哈耳常數的觀測值。
- 11.1 半導體的能量間隙。
- 11.2 半導體的載體移動率。

- 11.5 電子和電洞的有效質量。
- 11.6 偏極子耦合常數和質量。
- 11.7 半金屬內的電子和電洞濃度。
- 12.1 元素的超導電性參數。
- 12.3 超導電體的能量間隙。
- 12.4 超導電體的同位素效應。
- 12.5 內稟同調長度和倫敦滲入深度。
- 13.1 離子的電子極化率。
- 14.1 鐵電晶體。
- 14.3 反鐵電晶體。
- 15.1 三價鐵族離子的磁元數。
- 15.2 鐵族離子的磁元數。
- 16.1 鐵磁體的臨界點指數。
- 16.2 鐵磁晶體。
- 16.3 反鐵磁晶體。
- 17.1 核磁共振數據。
- 17.2 金屬元素之奈特移動。

一般參考書

原子物理背景

Max Born, *Atomic physics*, Hafner, New York, 7th ed., 1962.

R. L. Sproull, *Modern physics*, Wiley, 2nd ed., 1963.

統計物理背景

C. Kittel, *Thermal physics*, Wiley, 1969. Cited as *TP*.

晶體學

F. C. Phillips, *An introduction to crystallography*, Wiley, 3rd ed., 1963.

J. F. Nye, *Physical properties of crystals: their representation by tensors and matrices*, Oxford, 1957.

問題集粹

H. J. Goldsmid, ed., *Problems in solid state physics*, Academic Press, 1968.

高深系列

F. Seitz, D. Turnbull and H. Ehrenreich, *Solid state physics, advances in research and applications*, Academic Press. Cited as *Solid state physics*.

高深教科書

R. E. Peierls, *Quantum theory of solids*, Oxford, 1955.

C. Kittel, *Quantum theory of solids*, Wiley, 1963. Cited as *QTS*.

J. M. Ziman, *Principles of the theory of solids*, Cambridge, 1964.

值表

American Institute of Physics Handbook, McGraw-Hill, 3rd ed., 1971.

文獻指引

The original papers of the early workers in the field are most conveniently identified in the great scientific bibliographic series known as *Poggendorf*; this covers the last 100 years and more. The most valuable modern bibliographic aid is the *Scientific citation index*. For references to data on specific materials, consult the formula indices in *Chemical abstracts* and the subject indices to *Physics abstracts* and *Solid state abstracts*. Good bibliographies often accompany the review articles in *Reports on progress in physics*, *Critical reviews in solid state sciences*, *Solid state physics* (see above), *Springer tracts in modern physics*, *Reviews of Modern Physics*, *Soviet Physics (Uspekhi)*, *Comments on Solid State Physics*, and *Advances in Physics*.

目 錄

重要附表索引

一般參考書

第一章 晶體結構

原子週期列.....	2
晶體的平移向量和晶格...	3
對稱運算.....	6
晶基和晶體結構.....	7
初基晶格單元.....	8
晶格的基本型式.....	10
二維晶格型.....	12
三維晶格型.....	15
晶體中平面的位置和方向...	18
在細胞室中的位置.....	23
簡單晶體結構.....	23
氯化鈉結構.....	23
氯化鉍結構.....	25
六角密集結構.....	25
鑽石結構.....	28
立方硫化鋅結構.....	29
六角硫化鋅結構.....	30
非理想晶體結構的發生.....	31
五角成長.....	32
無規堆集與多型性.....	33
有關晶體結構的一些數據	35

第二章 晶體繞射和反商晶格

入射束.....	39
X射線.....	39
中子.....	42
電子.....	43
布拉格定律.....	43
實驗的繞射方法.....	45
勞厄方法.....	45
旋轉晶體法.....	45
粉末法.....	48
散射波振幅的勞厄導法.....	50
點原子晶格的散射.....	53
繞射條件.....	54
反商晶格.....	55
例題：週期分布的傅立 葉分析.....	56
例題：二維反商晶格...	59
厄瓦構圖法.....	59
布里元區.....	61
sc 晶格的反商晶格.....	64
bcc 晶格的反商晶格.....	65
fcc 晶格的反商晶格.....	67
晶基的結構因數.....	68
bcc 晶格的結構因數.....	71

fcc 晶格的結構因數.....	72
原子散射因數或波形因數...	72
反射線的溫度依賴性.....	76
與本章有關的高深論題：A	571

第三章 晶體結合

惰性氣體晶體.....	83
凡得瓦 - 倫敦交互作用...	84
排斥交互作用.....	87
平衡晶格常數.....	91
內聚能.....	92
壓縮係數與體積彈性係數	92
離子晶體.....	94
靜電或馬得隆能量.....	95
馬得隆常數的計算值.....	98
體積彈性係數.....	100
共價晶體.....	103
金屬晶體.....	105
氫鍵晶體.....	106
原子半徑.....	107
四面體共價半徑.....	109
離子晶體半徑.....	109
與本章有關的高深論題：B	576

第四章 彈性常數和彈性波

彈性應變的分析.....	111
形變膨脹.....	114
應力分量.....	115
彈順和倔強常數.....	115
彈性能量密度.....	116
立方晶體的彈性倔強常數	117
體積彈性係數與壓縮係數	118

立方晶體內的彈性波.....	120
在 [100] 方向的波.....	121
在 [110] 方向的波.....	122
以實驗來測定彈性常數.....	123

第五章 聲子和晶格振動

晶格振動的量子化.....	129
聲子動量.....	130
光子受長波長聲子作用後的 非彈性散射.....	131
例題：聲子的產生.....	133
X 射線受聲子作用後的非彈 性散射.....	133
中子受聲子作用後的非彈性 散射.....	136
單原子晶格的振動.....	137
第一布里元區.....	140
群速.....	142
長波長或連續區極限.....	144
由實驗的頻散關係導出力 常數.....	144
每初基晶胞具有二原子的晶 格.....	144
在紅外光區的光學性質.....	149
介電函數的零點和極點.....	151
局部聲子方式.....	157

第六章 絕緣體的熱性質

晶格熱容量.....	161
複習：普蘭克分布.....	163
愛因斯坦模型.....	164
簡正方式的計算.....	165
一維內的方式數目.....	165

三維情形的方式密度.....	169
例題：D(ω)的通式...	170
晶格熱容量的德拜模型...	172
德拜 T^3 定律.....	174
非諧晶體交互作用.....	176
熱膨脹.....	179
熱導性.....	180
晶格熱阻係數.....	182
拍轉過程.....	185
欠完美性.....	186
與本章有關的高深論題：C	579

第七章 自由電子費米氣體 I

一維情形下的能階和軌道密度.....	192
溫度對於費米 - 狄悅克分布函數的效應.....	195
三維情形下的自由電子氣體	196
電子氣體的熱容量.....	200
金屬熱容量的實驗值.....	203
費米液體.....	204
電導性和歐姆定律.....	207
金屬電阻係數的實驗值...	209
金屬的熱導係數.....	212
熱導係數與電導係數的比值.....	213
與本章有關的高深論題：E	

第八章 自由電子費米氣體 II

一電子氣體的介電反應.....	216
一離子體中的橫光方式...	217

在紫外區中鹼金屬的透明性.....	219
一離子體中的縱光方式...	219
離體子.....	221
靜電遮蔽.....	223
電子與電子的碰撞.....	226
磁場中的運動.....	229
迴旋加速器頻率.....	230
靜磁導係數.....	231
哈耳效應.....	233
與本章有關的高深論題：D	584

第九章 能帶 I

近乎自由電子模型.....	239
能量間隙的起源.....	241
一週期電位中電子的波動方程式.....	242
布勞克函數.....	247
一電子的晶體動量.....	248
折合區方案.....	249
週期區方案.....	251
靠近區邊界的近似解.....	252
在區邊界上.....	252
靠近區邊界處.....	254
能帶上軌道的數目.....	256
金屬和絕緣體.....	257
與本章有關的高深論題：F	

第十章 能帶 II

費米面的求法.....	261
電子、電洞、和開放軌跡...	265
電洞.....	268
電子在晶體內的有效質量...	273

有效質量的物理基礎.....	274
波矢爲零的波動函數.....	275
晶格對金屬內聚能的效應.....	277
準電位.....	281
研究費米面的實驗方法.....	283
金屬內的迴旋加速器共振.....	283
極值軌跡.....	286
哈斯 - 范·亞耳芬效應.....	287
Fcc 金屬的費米面.....	295
與本章有關的高深論題：G, H, I,	595

第十一章 半導體晶體

內稟傳導性.....	298
帶溝.....	300
質量作用定律.....	303
內稟載體濃度.....	306
內稟範圍內的移動率.....	307
雜質傳導性.....	308
雜質態.....	309
雜質的熱游離.....	311
雜質存在時的移動率.....	311
實驗結果的分析.....	312
Si 和 Ge 內的能帶.....	313
半導體中的迴旋加速器共 振.....	314
p - n 接頭.....	319
整流.....	321
偏極子.....	322
半金屬.....	324
質子，派介子，及 μ 介子的 移動率.....	325

非晶形半導體.....	326
-------------	-----

第十二章 超導電性

實驗縱覽.....	328
超導電性的產生.....	328
磁場毀滅了超導電性.....	331
麥士納效應.....	332
熱容量.....	335
能量間隙.....	335
微波和紅外光性質.....	339
同位素效應.....	341
理論縱覽.....	342
超導電轉變的熱力學.....	342
倫敦方程式.....	347
同調長度.....	350
超導電性的 BCS 理論.....	353
BCS 基態.....	354
持久電流.....	355
單粒子穿隧道.....	357
第二類超導電體.....	359
渦旋態.....	361
H_{c1} 的計算.....	362
與本章有關的高深論題：I, J, K, L	

第十三章 電介質性質

極化.....	368
巨觀電場.....	368
退極化場， E_1	370
在一原子處的局部電場.....	373
羅倫茲場， E_2	374
室腔內所有偶極所產生的 電場， E_3	375

介電常數與極化率.....	376
介電常數的測量.....	378
電子極化率.....	379
電子極化率與古典理論	380
例題：頻率依賴性.....	381
取向極化率.....	381
固體內的偶極取向.....	384
介電弛緩和損失.....	384
德拜弛緩時間.....	385
複數形的介電常數.....	386

第十四章 鐵電晶體

鐵電晶體的分類.....	387
離子晶體內的鐵電性.....	390
極化劇變.....	391
相轉變的本性.....	392
第二級轉變.....	394
第一級轉變.....	394
低頻光學聲子.....	398
鈦酸鈣的實驗.....	400
反鐵電性.....	401
壓電性.....	402
鐵電域.....	403

第十五章 反磁性和順磁性

藍俊明反磁性方程式.....	408
分子的反磁性.....	409
順磁性.....	410
藍俊明順磁性方程式和居里	
定律.....	410
順磁性的量子論.....	412
稀土離子.....	415
漢德法則.....	416

鐵族離子.....	417
晶體場裂距.....	417
軌道角動量的速減.....	418
核磁順性.....	419
利用絕熱去磁將一順磁性鹽	
冷卻.....	419
例題.....	421
核去磁.....	423
傳導電子的順磁化率.....	424
與本章有關的高深論題：M	624

第十六章 鐵磁性和反鐵磁性

鐵磁次序.....	429
居里點和交換積分.....	429
飽和磁化與溫度的關係...	433
絕對零度時的飽和磁化...	435
自旋波.....	438
自旋波的量子化.....	441
磁子的熱激發.....	443
中子散射：彈性和非彈性	444
鐵滄氧磁之次序.....	447
居里溫度和鐵滄氧磁之磁	
化率.....	450
鐵柘榴石.....	450
反鐵磁秩序.....	453
低於倪耳溫度時之磁化率	454
反鐵磁性磁子.....	456
鐵磁域.....	457
各向異性能.....	461
磁域與磁域之間的轉變區	
域.....	462
磁域的來源.....	464

矯頑力和磁滯..... 465

第十七章 磁共振

核磁共振..... 468

運動方程式..... 469

線寬度..... 475

動生偏狹..... 476

超精細裂距..... 478

例題：順磁點缺陷..... 481

鹵化鹼內的 F 中心..... 481

鈞內的施者原子..... 482

奈特移動..... 482

核四極共振..... 484

鐵磁共振..... 485

FMR 中的形狀效應..... 485

自旋波共振..... 488

反鐵磁共振..... 489

電子順磁共振..... 493

交換偏狹..... 493

零場裂距..... 494

第十八章 絕緣體內的光學現象

晶體的顏色..... 497

激子..... 498

微弱束縛的激子..... 499

緊緊束縛的激子..... 502

激子波..... 504

分子晶體中的激子..... 505

固態量子電子學..... 507

邁射作用原理..... 507

三階邁射..... 508

紅寶石雷射..... 510

半導體接頭雷射..... 511

光電導性..... 512

陷阱..... 514

空間電荷效應..... 515

晶體計數器..... 516

發光..... 517

鉍 - 活化的氯化鉀..... 518

第十九章 點缺陷和合金

晶格空位..... 521

擴散..... 526

金屬..... 528

顏色中心..... 529

F 中心..... 529

鹵化鹼中其他的中心..... 530

合金..... 532

磁性合金和康德效應..... 538

有秩序 - 無秩序變換..... 540

秩序的基本理論..... 542

第二十章 錯位

單晶的抗切強度..... 547

滑脫..... 549

錯位..... 550

巴吉斯向量..... 551

錯位的應力場..... 554

低角度晶粒邊界..... 556

錯位密度..... 558

錯位增殖和滑脫..... 561

合金強度..... 562

錯位和晶體長大..... 565

鬚晶..... 567

第一章 晶體結構

(Crystal Structure)

研究固態的物理性質乃肇始於本世紀初期。當時固態物理被人們視為是原子物理的一個分支，其研究的範圍盡都是晶體和晶體中的電子。即使在一個世紀之前，有關晶體的研究也還只是局限在晶體的外形，以及各種物理係數之間的對稱關係而已。直到西元一九一〇年，由於X射線繞射現象的發現，以及對晶體的有關性質發表了一連串簡潔而又成功的計算和預測之後，物理學家才開始深深地注意到晶體原子模型的探討。

數千年來，人們已經知道了許多晶狀礦物和各種耀眼的寶石。但是，最早對晶體有所描繪的却是十一世紀時的中國藥典。當時晶體這個名詞所指的也不過是冰，其次是石英石而已；直到中世紀末，這個名詞才有較廣泛的意義。

從十七世紀起，由於晶體外形所表現的規則性（圖 1），就使得許多觀察者深深地相信晶體是由許多全同的建築方塊有規則的重複排列所造成的（圖 2）。當晶體在一不變的環境中慢慢成長的時候，其形狀始終保持不變，

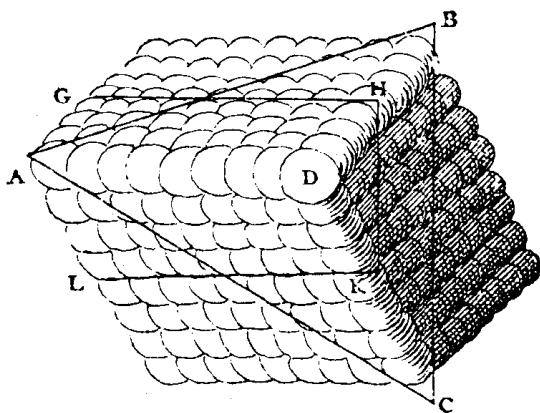


圖 3 惠更斯 (C. Huygens) 的 CaCO_3 模型。