

「材料科学 基礎と応用」 戒能俊邦・菅野了次著 東京化学同人

京都大学大学院 工学研究科

田中 勝久

“Materials Science : Fundamentals and Applications”

by Toshikuni Kaino and Ryoji Kanno

Katsuhisa Tanaka

Graduate School of Engineering, Kyoto University

本書は広く無機材料と有機材料を対象としてまとめられた材料科学の専門書である。固体化学と固体物理学に立脚した基礎的な事項とともに、材料の特性や応用に関する豊富な記述がある。最初に、序論で材料科学の考え方が述べられ、本書の特徴が示されている。すなわち、微視的に材料をとらえると、重要になるのは化学結合と構造であり、特に材料の物性と合成を考える上で中心に置くべきものは化学結合であることが強調されている。巨視的な視点からは熱力学や相の概念に基づいて材料の性質を理解する必要があることも指摘されている。序論に続く本論は、「物質の化学結合」、「結晶質と非晶質」、「結晶構造」、「材料の電気的性質」、「材料の磁気的性質」、「材料の光学的性質」、「材料のエネルギー変換機能」、「材料の力学的特性」、「材料の加工技術」、「複合材料」の10章から構成されている。とりわけ、非晶質に関する章が一つ設けられている点はガラスの研究者・技術者にとって特筆に値する。

「物質の化学結合」では、化学結合の種類、

原子・イオンの大きさの概念にふれたあと、無機材料と有機材料のいずれもが対象となる点を意識して、イオン結合と共有結合に関する事項を比較的詳細に解説している。また、結晶場理論、金属結合、バンド構造についても説明し、電気的性質や磁気的性質を知る上での基礎を提供している。

「結晶質と非晶質」の章では、これら2種類の固体に加えて準結晶や液晶も取り上げられている。非晶質に関する記述は、構造は液体に近く、短距離秩序はあるが長距離秩序は欠如していること、液体を冷却すれば過冷却液体を経てガラス転移温度以下で非平衡のガラス状態になることなど、ガラスの研究者・技術者にはすでにお馴染みのことが多いが、無機ガラスのみならず高分子材料についても具体的な分子の構成する網目構造などが示されているため、両者の類似性と相違点が理解しやすい。無機ガラスに関しては Zachariasen 則や網目形成酸化物と網目修飾酸化物の概念など一般的な材料科学の専門書としては詳しい記述があり、それに続いて共有結合や水素結合で生じる有機高分子の網目構造についても具体例が挙げられているので、構造の観点から無機-有機ハイブリッド材料を考えるヒントを与えてくれる。さらに、この章

では非晶質の構造解析の手法についても解説されている。

「結晶構造」の章は構造単位のつながり方や最密充填のような基礎的事項に始まり、さまざまなイオン結晶の構造と化合物の具体例、単位格子と空間群やミラー指数の考え方、回折法による構造解析の原理、欠陥の種類と具体例、固溶体の種類と生成機構など結晶化学の全般にわたる説明がなされている。また、最近のトピックスの一つでもあるメソサイズの規則構造を持つ多孔体の例が述べられているほか、高分子の構造についても詳しい記述がある。

「材料の電気的性質」では、半導体のバンド構造とpn接合ならびにダイオードやトランジスターの原理、誘電体の特徴と圧電体や強誘電体となる無機化合物の具体例、新しい記録デバイスであるFeRAM（強誘電体メモリー）の原理など、基礎から応用までの広い範囲の内容が述べられている。また、高温超伝導体も含めた電気伝導性酸化物について、Mott-Hubbardモデルなどにふれながら、多種類の酸化物の特徴的な電気伝導が紹介されている。さらに、ポリアセチレンに代表される導電性高分子についても述べられ、伝導機構とともにさまざまな導電性高分子の例が挙げられ、プラスチックトランジスターや電解コンデンサーへの応用が説明されている。

「材料の磁気的性質」においても、基礎的事項、具体的な化合物、材料としての応用が述べられている。基礎的事項では強磁性やフェリ磁性といった巨視的な磁性の種類と特徴、ならびに磁気モーメント、磁区、磁化過程、硬磁性と軟磁性など重要な物理量や現象についての解説がある。化合物と応用では、磁石や磁気記録材料としての用途があるフェライト、大きなエネルギー積を持つSm-Co系およびNd-Fe-B系永久磁石といった無機化合物のほか、有機磁性体についてもふれられている。無機磁性体ではd軌道やf軌道の不対電子のスピンの軌道角運動量が巨視的な磁性に寄与するが、有機磁性体

ではフリーラジカルやカルベンなどs軌道とp軌道の不対電子を利用する必要がある。一般にはこれらは不安定で、しかも強磁性的配列の実現が難しい。つまり、不対電子同士が近づくとスピンを互いに反平行にする方が安定である。しかし、立体障害を起こす置換基を導入して不対電子を安定化したり、電荷移動錯体において電子供与体と受容体の基底状態と励起状態の軌道の重なりを利用して三重項状態を安定化したりする工夫がなされて、大きな磁化や保磁力を達成することが試みられている。また、図1に示すような π 電子共役系の有機高分子では三つのフェニル基と結合した炭素原子に不対電子が存在し、分子同士がスタッキングすることで非常に大きなスピン多重度を実現しているそうである。現在、酸化物薄膜やガラスの磁性の研究を進めている本稿の筆者にとって、この有機磁性体のくぐりには非常に興味深いものであった。このほか、本章には巨大磁気抵抗効果に関する解説もある。これが2007年のノーベル物理学賞の対象となったことは記憶に新しい。

「材料の光学的性質」でも電気的性質と磁気的性質と同様、多くの光学特性と材料について述べられている。取り扱われている光機能材料は、蛍光体、エレクトロルミネセンス素子、レーザー、発光ダイオード、透明導電体、光ファイ

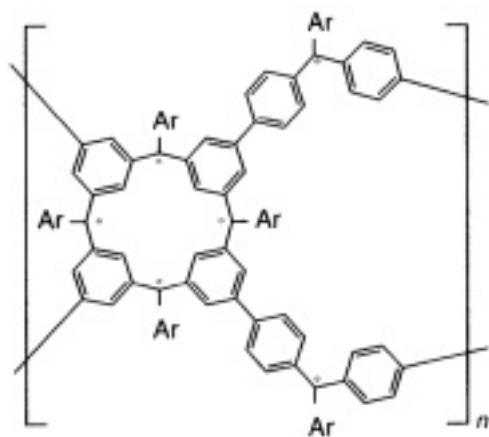


図1 大きなスピン多重度を持つ π 電子共役系有機高分子。三つのフェニル基と結合した炭素原子に不対電子が存在する。

バー、光導波路、フォトニック結晶、液晶とディスプレイである。光ファイバーの項では、ポリメチルメタクリレート (PMMA) やポリスチレンをコアとするいわゆるプラスチック光ファイバー (POF) を無機ガラスと比較しながら解説している。POF は柔軟性に富み、強い曲げや荷重に対して破壊が起こりにくい。また、無機ガラスファイバーの製造ではいったん母材を作製し、それを高温に保持してファイバー化するのに対し、POF では原料のモノマーを連続的に重合してファイバー化することが可能で、多芯ノズルを使えば複数のファイバーを同時に作製できるためコストがかからない。一方で POF の光伝送損失はシリカガラスファイバーと比べると 1000 倍以上も大きく、シリカガラスファイバーが数十 km の光信号の伝送に使われているのに対し、POF で達成できる伝送距離は 100 m 程度である。また、広帯域の信号伝送を比較した場合、シリカガラスファイバーでは 1 km で数十 GHz に及ぶのに対し、POF では 100 m の伝送距離でも数十 MHz 程度が一般的である。このような問題点を克服するための技術的な手法も紹介されている。

「材料のエネルギー変換機能」では、電池の原理、イオン結晶におけるイオン伝導の機構、点欠陥とイオン伝導の関係などが述べられ、具体的なイオン導電体の構造や物性の特徴が紹介されている。とりわけ、リチウム電池や燃料電池に関係の深いリチウムイオン導電体、プロトン導電体、酸化物イオン導電体が増えられ、酸化物を中心とするイオン結晶に加えて、導電性高分子や無機ガラスのイオン伝導にもふれられている。さらに、グラファイト、 LiCoO_2 、 LiFePO_4 などに見られるリチウムイオンのインターカレーションとデインターカレーションの機構および電極材料への応用についての説明がある。

「材料の力学的特性」では、応力と歪み、破壊靱性、硬度などの一般的な解説のあと、化学結合、ディスロケーション、粒界などと機械的性質の関係が述べられている。また、強靱化し

た無機材料として、安定化ジルコニア、サイアロン、結晶化ガラスなどが取り上げられている。ケブラーなど高強度高分子の例も挙げられている。

「材料の加工技術」は、最新の作製技術を含め、無機材料と有機材料の製造に欠かせない多くの手法を網羅している。大きな括りとして、薄膜形成、結晶成長(単結晶育成)、ファイバー化、成形、研磨、実装(アセンブリ)などについての解説がある。薄膜形成では、スピンコート法、キャスト法、ディッピング法、ラングミュアプロジェクト法、自己組織化膜、交互吸着法、CVD、真空蒸着、電解薄膜法、エレクトロスプレーデポジション法などが述べられている。成形では、射出成形、LIGA プロセス、各種リソグラフィなどについての説明がある。

「複合材料」では、無機-有機ハイブリッド材料を中心に現状と将来展望が述べられている。今後の展開として、原子・分子レベルからミリレベルまでの広い範囲で階層的に組織化されたマルチスケール材料の開拓、空間的に制御された反応場での化学反応の利用、重力、電場、磁場、応力など外部因子の導入による組織や性能の制御が、効果的な機能を持つ材料の開発にとって重要であることが強調されている。

ここまで繰り返したのが、本書は「材料科学 基礎と応用」という著書名が明確に示している通り、無機材料、有機材料を問わず、また、実用化されている材料のみならず興味深い物性に基づき今後の材料への展開が期待される化合物まで、広く材料を構造、物性、機能、合成の視点から解説している。したがって、初学者が総合的に材料科学を理解する上で適切な教科書・入門書となっている。また、「複合材料」の章で取り上げられているように、無機材料と有機材料は個々の特徴を最大限に生かしながら相補的にうまく取り扱えば、省資源・省エネルギーの観点からも価値のある材料が生まれる可能性は高く、新たな材料開発の立場からも本書から学ぶべき事項は多いと感じる。