

## 「発光と受光の物理と応用」

古河電気工業株式会社 横浜研究所

横内 則之

### Physics and Applications of Light Emission and Detection

Noriyuki Yokouchi

The Furukawa Electric Co., Ltd., Yokohama R&D Laboratories

本書は、日本学術振興会光電相互変換第125委員会の設立50周年の節目に、研究成果のまとめという位置づけで出版された。この125委員会が設置されたのは昭和33年(1958年)であり、筆者が生まれる8年前、まだ白黒テレビが本格的に普及する前の時代である。このときエレクトロルミネッセンス(EL)研究委員会として発足した125委員会は、半世紀後のフルカラー平面型ディスプレイの隆盛と日本産業への貢献を予想していたのであろうか。本書の大半は、題名通り「発光の物理と応用」の解説に費やされているが、読み進むうちに、実は受発光デバイスとその材料開発は、地球環境保護と密接に関連があるのではと思うに至った。それは実際に読んで頂くことで感じてもらうしかないで、ここでは本書の内容を振り返ってみた。

本書では、序論にて発光と受光の歴史を振り返った後に、まず発光と受光の基礎と題して、光と物質が関わる様々な物理現象を数式、図面、時にはわかりやすい事例を用いて解説している。それらは光と電子の相互作用にはじま

り、光吸収と発光(フォトルミネッセンス)、電界による発光(エレクトロルミネッセンス(EL))、光電効果(光伝導、光電子放出、光起電力)、電子放出と続く。本章はベーシックな内容であり、光に関する物理現象を理解する良い教材であるとともに、用語集的な利用方法も考えられよう。ただし、専門的な知識が要求される部分もあり、ある程度のバックグラウンドをもった技術者向けの内容となっている。

第3章、第4章は、それぞれ無機EL、有機ELに関する詳細な解説であり、50年来の研究活動の歴史を持つ125委員会ならではの内容となっている。無機ELについては、筆者が学生の時分に、実験室にこもってⅢ-V族発光デバイス用の結晶成長に没頭していた頃、隣の研究室でも同じようにⅡ-VI族の結晶成長に没頭している輩が大勢いたことを思い出した。実は当時、彼らの取り組んでいた研究テーマについては表面的にしか理解できていなかったのだが、本章に目を通して見て、はじめてⅢ-V族発光素子との動作原理の違い、結晶構造の複雑さ、材料の多様性などを理解することができた。キャリア(電子)注入のメカニズム、高電界下での電子の振る舞いなど、数式だけでなく定性的な説明も詳しい。材料としては、2元系硫化物、多元系硫化物、酸化物について、材料的な

〒220-0073 神奈川県横浜市西区岡野 2-4-3

TEL 045-311-1219

FAX 045-314-5190

E-mail: nyoko@yokoken.furukawa.co.jp

特徴、製法、発光特性などがまとめられている。第4章の有機ELは、ディスプレイ用自発光デバイスとして近年注目されているのはご存知の通りである。新聞紙上やインターネット上で有機ELの文字を見つけることは容易であるが、素子の構造や発光原理、応答速度が速く消費電力が低いという特徴について、その詳細を知る機会は案外少ない。本章では、まず有機ELの動作原理について、電荷注入から励起子生成、再結合過程を経て、光取り出しに至るまでの解説がおこなわれている。筆者のような半導体エンジニアには馴染みのない、ホスト分子からゲスト分子と呼ばれる蛍光色素へのエネルギー移動というプロセスはやや難解であった反面、光取り出し効率向上のための光学的手法、マイクロキャビティ効果など、化合物半導体デバイスで用いられている技術がここでも使われていることを知り、有機ELがこれまでより身近な技術に感じられた。概論に続き、低分子EL、高分子ELのそれぞれについて、材料的な視点からの解説、さらには応用展開が述べられている。

第5章では蛍光体について解説している。本章では、蛍光体概論に続き、近年の光産業界で特に注目されている蛍光体を取り上げている。それはプラズマディスプレイに用いられる深紫外励起蛍光体、白色LED用に開発された酸窒化物系蛍光体、さらには量子サイズ効果を応用したナノ蛍光体である。量子ドットに代表される半導体ナノ粒子は、量子サイズ効果により吸収や発光波長を制御でき、その高効率発光とシャープなスペクトルという特徴から、生体組織の造影剤として、ラベリングなどへの応用が考えられているが、今後その応用分野はさらに広がるものと思われる。

第6章では、半導体発光デバイスが取り上げられ、発光ダイオードや半導体レーザーの基本的な動作原理が解説されている。具体的な発光デバイスの事例として、既に光ディスクや情報通信で用いられているGaAs系やInP系などのⅢ

-V族化合物半導体ではなく、GaN系LED・レーザー、希土類添加半導体発光デバイス、酸化物半導体発光デバイス、ダイヤモンド半導体発光デバイスといった最先端の可視・紫外発光デバイスが取り上げられている点が、ディスプレイ応用を意識した本書の特徴である。また後半では、量子ドット光デバイスや微小共振器レーザー、さらには量子ナノ構造を応用したテラヘルツ光発生、中・遠赤外線を発光する量子カスケードレーザーにまで言及している。本章は、いわゆる“教科書”を目指した内容ではなく、最先端技術にこだわった構成となっている。

第7章は、前章までに解説された窒化物LEDと蛍光体の応用のひとつであり、近年特性向上が目覚ましい白色LEDの最先端に関して、その研究開発の流れから、素子構造と特性が簡略に述べられている。今後、低消費電力の一般照明用光源として期待されている白色LEDの目標値は、蛍光ランプの発光効率100 lm/Wを実用レベルで超えることといわれている。本章の後半では、高効率化へのアプローチとして素子構造の工夫による光取り出し効率の向上、単位面積あたりの光束を増大させるための工夫が述べられている。電子デバイスの世界では数十年前に真空管がトランジスタになったように、今まさにランプ照明がLEDに置き換えられようとしている比較が面白い。

第8章はこれまでの発光素子ではなく、受光素子・光触媒に関して述べられている。受光素子の原理として、光により伝導率が変化することを利用する光伝導型、光により起電力が発生する光起電力型について、基礎的な数式を用いた解説がなされている。近年特性向上が目覚ましい太陽電池については、Si系から化合物系、さらには色素増感と呼ばれるTiO<sub>2</sub>ナノ粒子を応用した最新型まで、エネルギー変換効率を向上させるためのさまざまな工夫が紹介されている。また、デジカメでおなじみの電荷結合素子(CCD)やCMOSイメージセンサである光電面デバイス、紫外線のエネルギー応用やエンジ

ンなどの内燃機関の燃焼制御への応用が期待される紫外線センサについても簡単に触れられている。紫外線センサでは、無機ELや蛍光体用材料としてたびたび本書に登場した窒化ガリウム、II-VI族半導体などが登場する。本章の最終節は光触媒である。ご存知の読者も多いと思うが、光触媒反応によって太陽光で水を分解し、水素を発生させることができる。これは究極のクリーンエネルギーの製造方法であり、地球温暖化防止のためのキー技術になる可能性を秘めている。光触媒といえば、色素増感型太陽電池でも使われているTiO<sub>2</sub>がその代表選手であろうが、ここでも窒化物材料を取り上げているのがいかにも本書らしい。

第9章は、発光現象の最大の産業応用のひとつであるディスプレイに関する章である。ディスプレイ概論に続き、無機ELディスプレイ、有機ELディスプレイ、プラズマディスプレイ(PDP)、さらには電界放出ディスプレイ(FED)と続くこの章に目を通して、第8章までに書かれていた技術解説は、実はこの章を深く理解するための準備運動だったのではと思えてきた。そして、発光デバイスとは一線を画すが、電子ペーパーの解説では、ディスプレイというもののあり方をもう一度考えさせられた。この章こそが125委員会50年の集大成な

のかもしれない。

第10章は光電相互変換のこれからについて触れている。第9章との対比になるが、この章は我々がこれからの50年間で進むべき方向を示している。「発光と受光の物理と応用」と題し、最新のテクノロジーを網羅した本書において、想像していなかった展望が示されており、筆者にはちょっとした驚きであった。ここで少しだけ紹介させていただくと、色とはなにか、光と人間の関わりはどうあるべきか、この最終章は我々技術屋へのメッセージとなっている。一人でも多くの光技術者が本書に触れ、この第10章のところで様々なことを感じていただくことを願う。また光技術の専門外の方であっても、工学が自然との共存を目指す手段になることを真剣に考える時期に来ていることを理解していただけるものと確信している。実は第8章を読み終えたとき、本書全体に通っているテーマは発光・受光現象そのものではなく、光技術が環境問題を解決する一つのアプローチであることを伝えたいのではないかという考えが、突然頭に浮かんだのである。本書の数十名の執筆者全員が、そのように明確なテーマを共有していたかどうかはわからないが、不思議なことに、本書の構成がその結論に向かって組まれているような気がしてならない。