

談話室

材料の制御性とデバイス化 — EL と LED の場合 —

大野 清 伍

沖電気工業株式会社半導体技術研究所
〒193 東京都八王子市東浅川町 550-5

(1988年4月14日受理)

Controlability of Materials and Fabrication of Devices

— as Exemplified with EL and LED —

Seigo OHNO

Semiconductor Technology Laboratory,
OKI Electric Industry Co., Ltd.
Higashiasakawa 550-5, Hachioji, Tokyo 193

(Received April 14, 1988)

1. はじめに

電気エネルギーから光エネルギーへの変換（電・光変換）は発光型ディスプレイデバイスを実現するための基本的現象であり、古くから研究されている。特に固体内における電・光変換現象として、真性エレクトロルミネセンス（真性 EL）と電流注入型発光が知られており、後者は発光ダイオード（LED）として家電製品の表示灯をはじめ広く実用に供されている。また前者も、多くの紆余曲折を経たが、実用の域に達している。これらは極めてよく似た現象であるにもかかわらず、その発展過程は極めて対照的である。これらの学術的、技術的解説は本編にゆずり、ここでは、両者の発展過程と構成材料の性質とのかかわり合いにスポットをあててみたい。

2. EL と LED の発展経過

1936年 Destriau¹⁾ は粉末蛍光体 ZnS を誘電体に分散し、これに交流電場を印加すると発光が持続することを見出した。これが普通の EL、即ち真性 EL、の発見である。彼はその後にも研究を続けたが、当時は食塩を溶解したグリセリンをマイカに塗布したものを透明電極として用いるなど、周辺技術が未熟なこともあり、みるべき発展はなかった。

1947年に至り、画期的な透明電極、NESA、が発明された。この電極は直ちに EL に応用され、1950年にはこれを用いた分散型 EL パネル（EL ライト）がシルバ

ニヤ社から発表され、これを契機に米国はもちろん、多くの国々で EL に関する研究が急速に広まっていった。我が国に於ては、1958年に日本学術振興会に EL 委員会（現在の光電相互変換第 125 委員会）が組織され、多くの研究が発表されるようになった。

しかしながら、その進歩はとても順調といえるものではなく、むしろ“イバラの道”とあってよいであろう。その主な原因は、

- 1) 得られる輝度が極めて小さい。
- 2) 輝度の経時変化が大きい（寿命が短い）。

の解決の見込がたなかったためと考えられる。このようなことから、EL（分散型）の研究は1960年をピークとして急速に衰退していった。

次のきっかけは LUMOCEN (Luminescence from Molecular Center) の発明²⁾ である。このデバイスの特長は、

- 1) 発光層を含む構成材料が薄膜である。
- 2) 発光中心が分子状で発光効率が低い。
- 3) 発光中心として希土類のフッ化物を用いているため、これを変えることにより、発光色を或る程度選択できる。

等である。しかし、このデバイスも提案のままでは実用に至らず、次のブレークスルーを待たねばならなかった。

Russ と Kennedy³⁾ は発光層の両側を絶縁層ではさんだ“2重絶縁膜構造”の EL パネルを提案した。猪口⁴⁾ はこれを更に発展させ、Mn をドーピングした ZnS 薄膜の両側を大きな誘電率をもつ絶縁膜ではさんだ2重絶縁膜構造の EL を提案した。ここではじめて、輝度、駆動方式（マトリックス駆動）、表示容量、精細度、信頼性等の面で問題が解決され、いわゆる実用デバイスとしての“市民権”を得るに至った。EL 現象の発見より実に 38年、文字通り難産に難産を重ねた未だ今日の姿がある。これ以後、

- 1) 多色化（特に三原色の発光）
- 2) Atomic Layer Epitaxy による EL パネルの作製
- 3) 駆動電圧の低電圧化

等、重要な進展がみられたが、ここではふれない。

一方において、p-n 接合における電子と正孔の再結合により発光デバイスを実現しようとする研究が行われてきた。1962年、GaAs 単結晶の p-n 接合に順方向の電流を流すと接合領域から強い赤外光が放出され、その変換効率が極めて高いことが報告された⁵⁾。その後間もなく、レーザ発振にも成功している⁶⁾。

これ以降この分野の研究は順調に進展し、1968年にはLEDの商品化に成功し、現在は極めて広範囲の分野に用いられていることは周知の通りである。また半導体レーザー(LD)も急速な進歩をとげ、いわゆるオプトエレクトロニクスの中核デバイスになっていることは今更述べるまでもないであろう。誤解されないようつけ加えるが、LEDやLDが大した努力なしにできたといっているのでは決してない。これらも膨大な研究の積重ねの結果であることは申すまでもない。ただELの場合と異なり、基本的な発光現象の確認から殆ど停帯なしに実用の域まで到達したことをいいたただけである。

このELとLEDの差は一体何に由来するのであるか。

1) 周辺技術の成熟度の違い

2) 理論面における完成度の違い

等、様々な理由が考えられる。しかし、最も大きな原因は“構成材料の制御性の違い”(平たくいえば“材料の素性の良し悪し”)によると考えるのは筆者のみであろうか。

筆者は、有機無機を問わず、いわゆる機能材料とこれを用いたデバイスの研究を続けてきた。この経験から言わせてもらえば、新しい機能をもつデバイスを実現しようとする場合、とりあえずは目的とする機能を備えている材料を見出せばまず幸運の部類に属し、研究の初期段階で“材料の素性の良し悪し”まで吟味できるのは希有のことである。“素性の悪い”材料を何とか改良し、実用までもっていくのが平均的な姿である。このように考えると、ELの場合(ちょっと時間がかかり過ぎたが)がむしろ一般的で、LEDは極めて幸運なデバイスということになる。このように、材料がらみの研究では(甚だ非科学的で恐縮だが)運、不運がつきまとう。

“素性の良し悪し”の例をもう一つあげよう。今世紀最大の発明といわれるトランジスタは最初ゲルマニウムを用いて製作された。しかし、ゲルマニウムはその不安定さの故に、現在では特殊な用途以外には用いられておらず、代りに専らシリコンが用いられている。シリコンは“神が与え給うた”と思われる程多くの優れた性質を有している。ちょっと考えただけでも、

1) 適当な大きさのバンドギャップをもつ。

2) 単に酸化するのみで、これ以上は望めないと思われる程良好な絶縁膜が得られる。

3) 原料の精製が容易

4) 単結晶化が容易

5) 資源はほぼ無尽蔵

6) 無公害

が浮びあがってくる。若しこの世にシリコンが存在しなかったら、少くともエレクトロニクスの世界は現在とはかなり違ったものになっていたであろうことは想像に難くない。

3. おわりに

上に述べたような見方を敷衍すると、新しいデバイスの実現は“材料の素性”次第ということになり、誠に具合の悪いことになる。本来は、目的とする機能をもつデバイスを実現しようとする場合、その性能仕様、構成材料、製造工程、信頼性等全てを、実験を行うことなしに又はほんのわずか実験を行うのみで、“設計”できるようになることが理想の姿であろう。これが完成すると、材料屋は“素性の良し悪し”という呪縛から解放されることになる。もちろん、こんな大それたことが簡単に実現すると考えているわけではないが、これに向って不断の努力を続けることが大切であると考えている。

文 献

- 1) G. Destriau: J. Chim. Phys. **33**, 620 (1936).
- 2) D. Kahng: Appl. Phys. Lett. **13**, 210 (1968).
- 3) M. J. Russ and D. I. Kennedy: J. Electrochem. Soc. **114**, 1066 (1967).
- 4) T. Inoguchi, M. Takeda, Y. Kakihara, Y. Nakata and M. Yoshida: 1974 SID Int'l. Symp., Digest of Technical Papers, p. 86.
- 5) R. J. Keyes and T. M. Quist: IRE Trans. Electron Devices **ED-9**, 503 (1962).
- 6) R. N. Hall, G. E. Fenner, J. D. Kingsley, T. J. Soltys and R. O. Carlson: Phys. Rev. Lett. **9**, 366 (1962); M. I. Nathan, W. P. Dumke, G. Burns, F. H. Dill and G. Lasher: Appl. Phys. Lett. **1**, 62 (1962); T. M. Quist, R. H. Rediker, R. J. Keyes, W. E. Krag, B. Lax, A. L. McWhorter and H. J. Zeigler: Appl. Phys. Lett. **1**, 91 (1962).