

有機材料と無機材料の接合による 新しいオプトエレクトロニクスデバイス



若 者

平 本 昌 宏*

1. はじめに

有機材料における多くの光・電子機能の発現が材料を構成する個々の分子構造に由来することから、有機材料の多様性を生かしてより高度な機能を持ったオプトエレクトロニクス素子を実現しようとする試みが注目されている。すでに実用に供されている有機電子写真感光体や液晶素子のような例を筆頭として、最近では将来の高度情報化システムを支える基盤技術となる非線形光学素子や光化学ホールパーニングなど、オプトエレクトロニクスにおけるブレイクスルーを目指した研究も活発に行われている。この分野は多くの学問領域に関連した典型的な学際領域であり、研究者の独創性が充分発揮できる未開拓の部分を多く秘めている。また、このような光・電子機能を持った有機材料を異種材料である無機材料と組み合わせることによって、有機材料の潜在的機能を新たに引き出し、新機能デバイスを構築できる可能性がある。さらに、このような異種材料接合は基礎的にも有機/無機接合界面に関する種々の興味ある現象を含み、基礎・応用いずれの観点から見ても一研究者として挑戦のしがいがある。

本稿では、以上の観点から、我々が研究を進めている有機薄膜と無機アモルファス薄膜を積層一体化した新規なオプトエレクトロニクスデバイスについて、最近の成果を中心に述べてみたい。

2. 有機電界発光薄膜と無機アモルファス光電変換薄膜の接合による「光-光」変換デバイス

2.1 有機電界発光 (EL) 素子

材料の光・電子変換機能は、電子を光に変換する機能とそれとは逆に光を電子に変換する機能に分けることができる。後者はいわゆる光電変換素子で、複写機の感光体、太陽電池としてすでに材料開発が進んでいる。一方、前者は発光素子であるが、最近オプトエレクトロニクスの分野で注目を集めているのが有機EL素子である。これは、蛍光性の有機薄膜に電子・ホールを注入し、両者の再結合によって有機分子を励起して発光させるという原理にもとづく。この現象自体は古くから知られていたが、印加電圧・発光効率の面で問題が大きくほとんど見捨てられていた。しかし、1987年にKodakのTang¹⁾が、室内光下でも充分明るい(輝度1,000Cd/m²以上)、低電圧駆動(10V以下)の素子を報告し状況は一変した。彼らの素子の大きな特徴は、電子注入・発光・ホール注入機能を各薄膜に分担させた有機薄膜多層構造となっており、これによって各層に適した物質の探索が可能になった。以後、主に国内において盛んに研究された結果²⁾、現在では青・緑・赤の3原色すべてについて高輝度のEL発光が実現され表示デバイスとして実用段階に入つつある。

2.2 「光-光」変換デバイス

我々は、この有機ELを単なる表示デバイスとは異なった新しいオプトエレクトロニクスデバイスとして展開したいと考え、有機ELの「電子-光」変換機能をその逆の「光-電子」変換機能と結合すれば、ある波長の光を別の波長の光として取り出せる「光-光」変換機能を持ったデバイスができないか、という発想にもとづいて研究を開始した。光電変換能を持った物質として、光電導性無機アモルファス薄膜

* 平本 昌宏 (Masahiro HIRAMOTO), 大阪大学工学部プロセス工学専攻, 講師(学内), 工学博士, 有機半導体

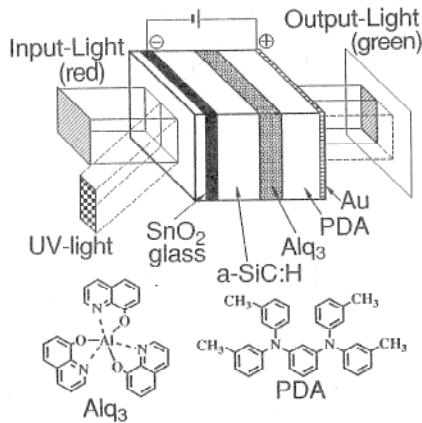


図1 「光-光」変換デバイス. a-SiC:H 薄膜の「光-電子」変換機能と有機EL 薄膜(発光層: Alq₃, ホール輸送層: PDA)の「電子-光」変換機能が一つのデバイスとして結合されている.

(アモルファスシリコンカーバイド: a-SiC:H) を用い, 無機と有機の接合をもつデバイスを作製することにした.

図1に素子の構造を示す. 透明電極(SnO₂)をもつガラス基板の上にn型a-SiC:H薄膜(膜厚約1 μm)をプラズマ化学気相成長法によって堆積し, その上に有機発光層(Alq₃, 膜厚50nm), 有機ホール輸送層(PDA, 膜厚50nm), 半透明金電極を真空蒸着によって積層した構造となっている. a-SiC:H薄膜を金属電極に置き換えれば, 有機EL素子と全く同じ構造となる.

この素子のa-SiC:H側が負になるように電圧を印加して光照射すると有機発光層の蛍光と同一のスペクトルを持つ緑色の出力光が素子の反対側から放出される. 出力光はn型a-SiC:H層中で光生成し有機発光層(Alq₃)に電場により注入された電子と金電極からホール輸送層(PDA)を介して発光層に注入されたホールとの再結合によるELである. この素子は, 出力光強度が入力光強度および印加電圧により制御でき, 入力光パターンが出力光においても保持されるという波長を持つ. したがって, この素子は空間的な光パターンが制御できる光変調素子として用いることができる特徴を有している³⁾.

また, a-SiC:H薄膜は近赤外領域まで感度をもつため, 赤色レーザーを入力光として用いる

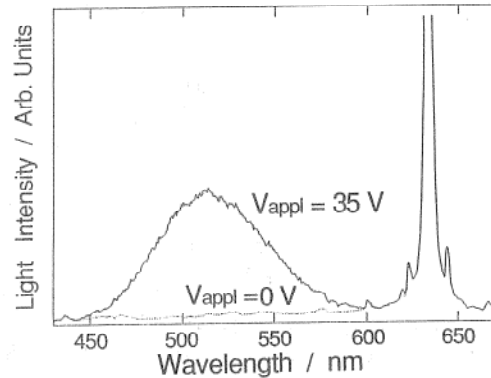


図2 「光-光」変換デバイスの出力光スペクトル. 入力光はHe-Neレーザー(632.8nm). V_{appl}は素子に印加した電圧を示す.

と, 図2に示す非常に印象的な出力光スペクトルを得ることができた. ここで, 520nmにピークを持つ成分がEL出力光で633nmのピークが入力レーザー光である. この結果は, 本素子を用いれば非線形光学効果とは全く異なった原理によって低いエネルギーの赤色光光子をより高いエネルギーの緑色光光子に短波長変換できることを明確に示している⁴⁾.

2.3 光電流増倍現象

研究を進めていると最初は全く予期していなかった面白い現象を見いだすことがある. 今回の素子の場合, 入力光子数に対する出力光子数の割合, すなわち「光-光」変換の量子収率を測定した時にそのような現象にめぐりあった. それは, 量子収率の印加電圧依存性が入力光波長によって全く異なり, 488nmでは飽和してしまうのに対して632.8nmでは飽和せずに増大し続け1%という大きな値に達するということであった(図3).そこで, EL層を取り去ったSnO₂/a-SiC:H/Au構造をもつセルを作製し光電変換特性を測定したところ, 印加電圧が増大するにつれa-SiC:H膜の吸収係数が小さい長波長領域でのみ光電流量子収率が数十倍になりアモルファス物質では極めて珍しい光電流増倍が起こっていることが分かった(図4)⁵⁾. この現象は光生成ホールが透明SnO₂電極とa-SiC:Hの界面近傍の準位にトラップされて蓄積し, 界面に高電界がかかることによるSnO₂電極からa-SiC:Hの伝導帯へのトンネリング電子注入による. この光電流

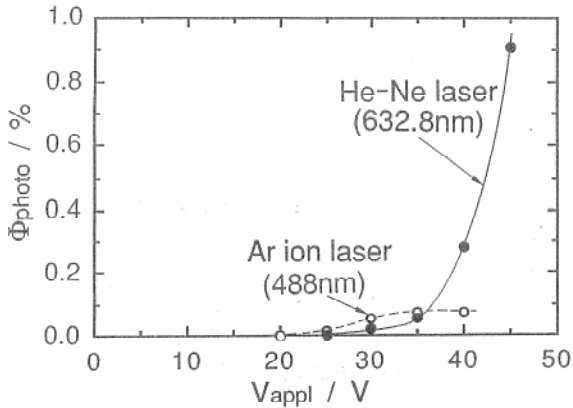


図3 「光-光」変換の量子収率 (Φ_{photo}) の印加電圧 (V_{appl}) 依存性.

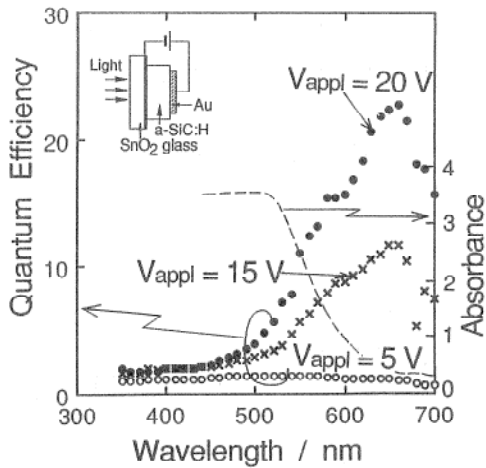


図4 $\text{SnO}_2/\text{a-SiC:H}(1\mu\text{m})/\text{Au}$ セルにおける光電流量子収率 (光電流増倍率) の波長依存性. 破線は a-SiC:H 膜 ($1\mu\text{m}$) の吸収を示す.

増倍現象を上手に利用すれば本素子を用いて「光-光」増幅も可能と考えている.

2.4 「光-光」変換の光制御

本素子のもう一つの大きな特長は「光-光」変換を光制御できることである. 赤色光-緑色光変換時, a-SiC:H 表面近傍のみを高密度励起できる UV 光を赤色光に重ねて照射すると界面でのホールの蓄積が阻害され, 先に述べた光電流増倍が抑制されるため, UV 照射部分の出力光強度を可逆的に制御できほとんど消去できる (図1 および図5 参照). 入力光パターンが保持されるというこの素子のもう一つの特長ともあわせ, この結果は2次元光演算が可能なることを示している.

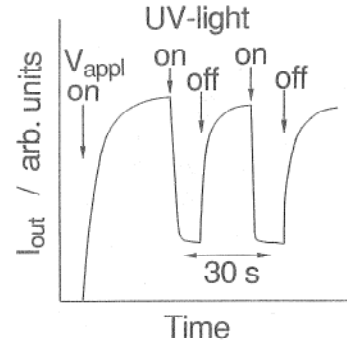


図5 UV 光による出力制御. I_{out} は出力光強度を示す. 印加電圧 48 V. 測定温度 -100°C . 赤色入力光は常時照射している.

3. おわりに

有機材料と無機材料をうまく組み合わせることによって全く新しい機能を持ったオプトエレクトロニクスデバイスを実現することができる. 本稿で紹介した「光-光」変換デバイスは, 将来の光コンピューティングにおける2次元光演算素子や半導体レーザ光でアドレスするタイプの EL ディスプレイとして展開できると考えている.

有機物質のオプトエレクトロニクス素子としての新たな応用の可能性を開拓する場合, 素子の特性に対して個々の分子の性質が強く反映され, 必然的に分子レベルでの考察が重要となる. 従来, 主に物理系の研究者によって記述されてきた無機物質の光・電氣的性質についても, 分子レベルの目で見直せば思いもよらない展開ができるかも知れない. これは化学者の得意なことであり, 若手研究者として充分挑戦のしがいがある. また, 本稿で述べたような学際領域の研究を進める場合, 大学においても学部ごとに孤立して研究するのではなく, 化学・物理・電気などの学科間の協力が今後ますます重要になると考えられる.

参考文献

- 1) C. W. Tang and S. A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., 51, 913 (1987).
- 2) C. Adachi, T. Tsutsui, and S. Saito, Appl. Phys. Lett., 55, 1489 (1989).
- 3) M. Hiramoto, T. Miyao, and M. Yokoyama, Appl. Phys. Lett., 57, 1625

(1990).
4) M.Hiramoto, K.Yoshimura, T.Miyao,
and M.Yokoyama, Appl. Phys. Lett.,

58, 1146 (1991).

5) 平本・吉村・横山, 第38回応用物理学会予
稿集, 31p-G-3 (1991).

