

## IV. 2. 6 高機能の光変換素子の開発

研究リーダー 金藤敬一（九州工業大学 教授）

### （1）5年間の総括

本グループでは有機材料による光電変換、バイオ光センシングおよび核酸光センシングプローブなど下記の5つのサブテーマについて研究を行った。

なお、②～⑤はフェーズIのみ研究を行った。

#### ①光電変換素子の高機能化と新規応用開発（九州工業大学）

有機化合物による光起電力機構の解明と高機能化および太陽電池への応用を目指し開発研究を行った。有機材料として導電性高分子、ポリ（3-アルキルチオフェン）、P A Tを主に用い、光パルスによる時間走行法（T O F）、電界効果法（F E）により電子デバイスの性能を決定する移動度の評価を行い、分子構造の立体規則性、側鎖長さなどを最適化することによってアモルファスシリコンに匹敵する世界最高レベルの移動度 $0.03\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を得た。

また、P A Tフィルムを用いて光起電力素子の作成と物性評価を行い、光キャリアの生成機構の解明とデバイスの高機能化に関する指針を得た。まだ基礎的課題が多く、製品化を目指した応用研究に移行することが困難であったため、学内での基礎的な研究として継続した。

#### ② $\pi$ 共役及び $\sigma$ 共役分子集合系の光・電子機能

（産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部）

フラーレン、カーボンナノチューブやオリゴシランなどの複合構造により新たに発現する光・電子機能の探索と応用について研究を行った。フラーレンとS iとの積層膜に空气中でレーザー光を照射すると白色発光を示すことを見出し、新たな白色光源として開発可能であることを示した。フラーレンのP M M A、ポリスチレンなどポリマー分散系にレーザー照射を行うと、光励起発光強度が数十時間に数倍～数十倍増加し、発光ピークが短波長シフトすることを見出した。

また、分散膜は電荷注入によっても発光することを見出した。単層カーボンナノチューブの酸化、還元による光吸収、電気抵抗などの変化を同時測定することによって、P型あるいはN型半導体になることを明らかにした。さらに、オリゴシランのT O Fによって移動度が $10^{-3}\text{ cm}^2/\text{V}$ 以上であることを見出した。いずれの結果も新しく発見された現象で、その機構解明に主力が注がれ、応用研究には至っていない。

#### ③ナノスペース制御による光電気変換材料の創製（産業技術総合研究所 九州センター）

二次元層間化合物の、ナノスペース制御および層間での半導体（硫化カドミウム、C d

S) 微粒子のクラスター生成機構の解明と分散制御法の確立により、低コストの光電変換材料の開発を行うことを目的として研究を行った。マイカの層間にカドミウムイオンを吸収膨潤させ硫化水素で還元することによりCdS微粒子を生成させCdS単独より高い光電流を観測した。

また、マイカを微細化する程(6→1.2 μm)、およびマイカの代わりに粒径がさらに小さいスメクタイト(50 nm)を用いると、さらに変換効率が増加することを明にした。CdSと層状半導体のニオブ酸カリウムによる光増感剤系のセルを作成し、その効果を光電流により確認した。

光電変換セルに層状化合物を用いる方法は新規であるが、在来の方法に匹敵する変換効率を達成するには課題が山積しており、基礎研究の段階を脱していない。

#### ④光変換を読み出し信号とするバイオセンシングシステムの構築(九州大学)

生体内の微量な生理活性物質(たとえば金属イオンと糖類)を光吸収や発光の変化として定量的にセンシングする新規な方法を開発することを目標に研究を行った。

生理的に重要なグルコース、マンノース、分岐型トリマンノシドなどの特定の糖類を選択的に認識する糖結合タンパク質による蛍光センシング法、およびそのタンパク質を作成する光親和性ラベル化分子(P-PALM)を新規に開発した。

また、遷移金属イオンに高い結合能を持った非天然アミノ酸の分子設計および大量合成法を確立し、αヘリックス性ペプチド内にそれを組み込むことによる銅イオンの濃度を円偏光変化としてセンシングできる分子システムの構築を成し遂げた。新規センシング手法の開発には成功したものの、選択性や他のレクチンタンパク質への適用や一般化が必要で基礎研究の段階で継続中である。

#### ⑤有機ボロン酸誘導体による核酸センシングプローブの開発(福岡県工業技術センター)

各種ボロン酸が光照射によりDNAを効率よく切断する技術を実用化するための開発研究を行った。

まず、ピレンボロン酸、ポルフィリンボロン酸を生体細胞に導入する方法を、2分子膜を用いたりポソーム法により行えることを見出した。グルコースホスフォイソメラーゼ等を用いてグルコースとフラクトースの異性化を行うことによってボロン酸誘導体のDNAへの結合解離を制御することを行った。

さらに、糖類の他にボロン酸誘導体によるDNA切断能力を制御するものとして生体が利用しているマグネシウム、亜鉛などを利用してDNA切断能力の制御が行えることを明らかにした。

## (2) 今後の取り組み

主として有機化合物の光電変換材料の高効率化、炭素クラスターの分散膜による発光機能、分子認識による生体材料のセンシングおよびDNA切断の光制御など新規な材料を用いた機能の解明と高機能化による実用化を目指して研究を行った。

特に、光電変換機能における太陽電池や電界発光については、従来技術との激しい競争の中、短期的に既存材料と同等の成果が得られなかった。

今後、光電変換の効率を制限している要因を探りその対策を講ずることが重要である。生体材料のセンシングやプロービングでは高い完成度の手法が開発されたが、これは並行する大型プロジェクトによる支援の成果でもある。

いずれも多くの成果は基礎的な観点では高い評価が得られるものの、応用研究の初期段階にやっと一部到達しており、実用化研究にはかなりの時間が要するものが多い。商品化の開発は最終製品でのみ評価が与えられるものであるが、本プロジェクトから得られた個々の要素技術は基盤技術として大きな成果を収めた。