「フォトリフラクティブ材料とその応用」解説小特集号によせて

黒田 和男

東京大学 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

Preface to the Topical Papers on Photorefractive Materials and Their Applications

Kazuo KURODA

Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505

(Received October 4, 2001)

フォトリフラクティブ効果は、光伝導性の電気光学材料に空間的に不均一な光を照射すると屈折率が変化する現象である。フォトリフラクティブ材料には、屈折率変化が大きくかつ応答速度が速いことが要求される。ところが、これが両立しない。このことはフォトリフラクティブ材料に限らず、非線形屈折率材料一般に言えることである。ひとつの解決策は光強度を強めることである。計算機のCPUでも高速化のために大電流を流すという。エネルギーを大量に注ぎ込んで高速化を図るという力ずくの方法はフォトリフラクティブ材料にも有効である。しかしこれならば初めから3次非線形光学媒質を用いればよい。低強度の光で大きな非線形性が得られることがフォトリフラクティブ材料の特長のひとつであるから、この利点を失う方法は採るべきではない。第2の方法は、共鳴準位の利用である。典型的な例が半導体で、バンド端近傍の波長の光を用いることにより屈折率変化を大きくできる。イントリンシックな非線形光学材料では、共鳴準位を利用すると緩和時間が長くなるが、フォトリフラクティブ材料ではもとより応答が遅いため、問題にならない。むしろ屈折率変化が大きくなることのプラスの方が大きい。半導体多重量子井戸素子はその典型的なもので、井戸層に閉込められたエキシトンの電界吸収効果に伴う屈折率変化を利用する。もちろん、これですべてが解決したわけではない。共鳴が鋭いほど効果は大きくなるが、波長帯域が狭くなるから、超短パルスのようなスペクトルの広がった光に対して使えなくなる。また、結晶成長の制約から厚い材料を作るのが難しいなど、まだ改善すべき点は少なくない。しかし、構造や材料の組み合わせを変えることでさまざまな特性を持つ量子井戸を設計し製作することができる。このことを活用し、素子の性能改善を図ることが可能となる。このように設計の自由度を持つことが量子井戸材料の魅力の一つである。

有機ポリマー材料の研究も盛んである。この材料の面白いところは、フォトリフラクティブ効果の発現に至るプロセス、すなわち、電荷の発生、明部から暗部への移動、電

荷の捕獲、そして最終的に屈折率の変化に至る各プロセスを、それぞれ異なる分子が分担することである。このため、材料設計の自由度が高く、分子の組み合わせを選ぶことにより、さまざまな特性の素子を作ることができる。すでに多くの優れた材料が得られているが、有機材料の選択は無限にあるから、更によいものが見つかる可能性は高い。また、上に述べたゲスト/ホスト型の材料とは異なる種類の材料の探索も行われている。たとえば、有機分子結晶で無機結晶を超える特性を持つ材料も不可能ではない。有機材料は、今後も多くの可能性を秘めた材料であり続けるであろう。

では、無機材料の進歩は止まったのかというと、決してそのようなことはない。中でも最近の特筆すべき成果のひとつに、物質・材料研究機構(旧無機材質研究所)によるストイキオメトリックなニオブ酸リチウムの成長が挙げられる。これは、コングルーエントな材料に比べて多くの面で優れた特性を持つことが確かめられ、フォトリフラクティブ材料だけではなく、非線形光学材料や電気光学材料として広く使われはじめている。また、ホログラフィック光メモリーへの応用を目指し、書換可能でありかつ不揮発であるという矛盾する特性を持った材料の開発も進んでいる。このような進歩は、物質内で生起する物理現象の理解なくしては達成できない。基礎研究の重要性を示す好例である。

しかし一方で、工学材料は何であれ、使い道がなければ衰退する。フォトリフラクティブ材料については、本小特集で採り上げるレーザービーム品質の向上のための素子や超音波振動計測など、特殊な応用はいくつかあるが、大量に使われる可能性のある応用はないのが現状である。ホログラフィック光メモリーがその最有力候補であるが、未だに市場に向かって離陸できずにいる。このような応用分野を見つけない限り、将来は暗い。隔年開催の国際会議Photorefractive Effects, Materials, and Devicesでは、Prize for Best Applicationという賞を設けて応用研究の発展を鼓舞している。このような努力の積み重ねが稔りを結ぶことを期待したい。