

一次元銅酸化物の光通信への応用

通信総合研究所 関西先端研究センター

芦田昌明

強相関電子系の電気伝導、磁性といった低エネルギー物性に関する研究は非常に盛んであるが、光学応答、特にその応用はあまり注目されてこなかった。しかし、大きな電子間相互作用は特異な光学特性をもたらす可能性がある。ここでは、一次元銅酸化物の非線形光学応答と光通信用の光学材料としての応用可能性について報告する。研究の背景、問題意識を以下に述べる。

光通信技術の進展は目覚ましく、既に 10Tbit/s を越える伝送速度を実現するに至っている。しかし、意外なことに交換機に相当する部分の開発は非常に遅れており、現時点で漸く使われ始めたのは微細加工技術を用いた機械仕掛けのスイッチ (MEMS) で、その切替速度はせいぜい ms, 1Gbit/s の能力しか持たない。Tbit/s を越える速度でスイッチングを行えるのは全光スイッチにおいて他にない。光で光を制御するには介在する物質が大きな非線形光学応答を示さなければならないが、超高速応答も兼ね備えた物質探しは非常に困難である。そうした光学材料の発見・開発を目指して、ここ十数年来、無機・有機物質を問わず数多くの研究がなされてきたが、これまでのところ全光スイッチの実現に成功していない。一般に励起準位に (一光子) 共鳴する光学過程を用いれば非線形性は非常に大きくなるが、キャリアなどの実励起がもたらす生じるため、系が基底状態に戻るまでに有限時間 (ns 程度) が必要で高繰り返し動作が期待できなくなる。このため、バンドギャップの半分のエネルギー (ハーフギャップ) に共鳴する二光子過程を使う必要がある。しかし、その過程による非線形性の大きさは、従来研究されてきたバンド絶縁体の場合、物質の詳細によらずバンドギャップエネルギーの三乗でスケールされる経験的な法則によく合っており、この枠内ではスイッチを実現できないのである。

こうした壁を越えるために、物質の低次元化を行い、状態密度を制御するなどして非線形性の増強を図る試みが数多く行われてきた。一方、光学非線形性はそもそも物質中の電子間相互作用に起因するということに立ち戻れば、独立粒子近似がよく成り立つバンド絶縁体よりも、電子相関の大きいいわゆる強相関電子系の方が非線形光学材料として有利ではないかと考えられる。そこで、我々は高温超伝導で有名な銅酸化物の関連物質である一次元モット絶縁体 Sr_2CuO_3 を手始めに取り上げた。講演では非線形光学材料に求められる諸条件について触れた後、一次元銅酸化物の示す大きな光学非線形性と超高速緩和について述べる。また、従来から知られている物質との比較を行うなどして、銅酸化物の光スイッチへの適用可能性について考察する。

詳細については以下の解説記事とその中の参考文献を参照頂きたい。

芦田昌明、五神真：「低次元銅酸化物の超高速非線形光学応答 高温超伝導材料の関連物質による光スイッチの可能性」 日本物理学会誌 57 (2002) 337.