

半導体励起子系の超高速光学非線形応答を発見

半導体に、バンドギャップエネルギーに近いエネルギーをもつ光を当てると、価電子帯から伝導帯に励起された電子と、価電子帯に残された正孔がクーロン力でペア（励起子）を形成する。この励起子系が、適当な条件下で、高い光学非線形性(入力光強度の 2 乗、3 乗・・・に比例して出力光強度が増加する現象)を生じることが知られているが、励起子に固有な応答速度が比較的遅く、高速な光スイッチへの応用の障害となっていた。例えば、半導体 GaAs の場合、励起子の励起エネルギーは約 1.5eV で、ペアの差し渡しは 22nm 程度、励起子の寿命に反比例するその応答速度は速くても数ピコ秒 (ps; 1 ps は $1/10^{12}$ 秒) と見積もられている。この問題を克服して、光学非線形性の大きさと速さを両立させるための様々な取り組みが国内外で行なわれているが、最近、独立行政法人情報通信研究機構、神戸大学、徳島大学、独立行政法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業の研究者からなる研究グループは、半導体 GaAs 中の励起子系において、複数の励起子準位を同時に励起して生じる励起子準位間の干渉効果に起因した、励起子本来の寿命には制限されない、100 フェムト秒(=0.1 ps)程度の超高速応答が、高い光学非線形性が得られる条件下でも得られることを見出した。この研究成果は日本物理学会発行の英文の学術誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2008 年 4 月号に掲載される。

本研究では、励起子サイズの 5 倍程度 (110 nm) の厚さをもつ GaAs 薄膜中の励起子系に着目した。この程度の膜厚の GaAs 薄膜では、励起子と光電場との結合が強くなり、励起子非線形応答が顕著に増強されることがこれまでに知られていた。さらに、励起子の重心運動に対する量子閉じ込め効果による離散化したエネルギー準位をもつモードが出現する。本研究グループは、この GaAs 薄膜に関する以下の実験により、複数の量子化された重心運動モードの同時励起が超高速な非線形光学応答をもたらすことを初めて見出した。まず、図 1 は、励起子エネルギーと同じエネルギー (E_x) をもつ光の超短パルスレーザーを薄膜に照射したとき観測された非線形応答強度をパルス間隔 (Delay time) に対してプロットしたものである。ここで、 E はパルス時間幅を、その逆数に比例するエネルギーで示したもので、 E が小さい場合、応答強度には励起子本来の緩和に対応するピークが見られるが、 E を大きく (パルス幅を小さく) していくとピーク幅が減

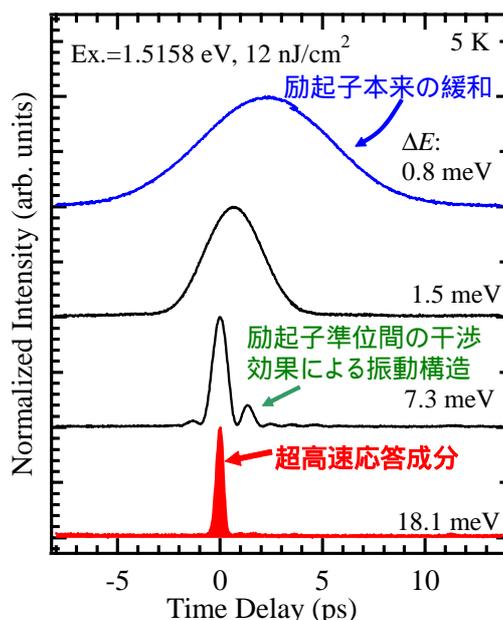


図 1. GaAs 薄膜の、超短パルスレーザーに対する非線形応答強度

少し、 $E=18.1$ meV (パルス幅 ≈ 0.1 ps)では、ピーク幅もまた 0.1 ps 程度の超高速応答が出現していることが見てとれる。さらに、パルスレーザーの E を一定にして E_x の方を変化させた実験からも、この超高速応答成分が、複数の励起子重心運動閉じ込めモードの励起に起因することが検証された。

この超高速応答成分が励起子本来の緩和による制限を受けないということは、高い光学非線形性と高速応答特性の両立が要求される超高速光スイッチが半導体励起子系で実現される可能性を強く示唆するものであり、本研究は、この分野の研究に新たな視点を提起したものとして研究者の注目を集めている。さらに、近年の情報通信容量の増加により必要とされる 1 テラビット/秒を超える光信号の超高速情報処理に不可欠な超高速光スイッチの実現に向けて、その展開が大いに期待される。

掲載論文誌： J. Phys. Soc. Jpn. **77**, (2008) No.4, p.044701

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/77/044701> (3月25日公開)

< 情報提供： 小島 磨 (神戸大学、情報通信研究機構)、
井須俊郎 (徳島大学、情報通信研究機構)、
土屋昌弘 (情報通信研究機構) >