

Ultrafast opto-optical control materials 超高速光・光制御材料の探査的研究

プロジェクトリーダー 小 林 孝 嘉

東京大学 大学院理学系研究科 教授



1. 研究の目的

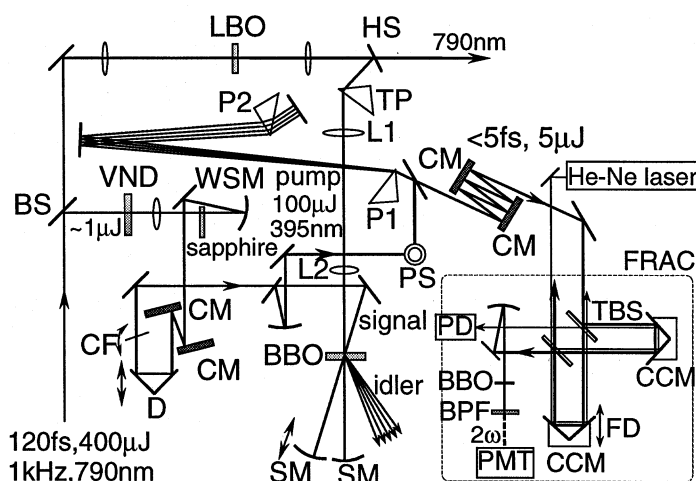
有機非線形光学材料は、21世紀光デバイスの鍵となる物質の一つである。特に、共役高分子、色素会合体を始めとする有機一次元物質系は、本質的に大きな非線形光学特性と超高速性を併せもち、超高速非線形光デバイスへの可能性が検討されている。今後、その実現のために解決しなければならない要件は以下の四つである。(1) 実用可能な低レーザー光強度で実用可能な非線形特性を持つ材料と、それを増強する形態の探査、(2) 材料探査の指針となる普遍的で適切な性能評価法の開発、(3) 大きくてかつ超高速な新非線形効果の発見、(4) デバイス形態の構築可能な材料の探査

本研究の目的は、既成の概念を打破し、新しい機能を発現する試料を探索し、かつそれをより有効に発現させる形態を構築すべく、それぞれのコアメンバーの成果を融合、有機的に結びつけ発展させる。具体的には、(1) 超高速非線形性を有する一次元有機系物質を合成する。(2) それを新評価法を用いて評価し、それに基づいて物質探査の指針を得る。(3) 微小共振器構造、及び周期構造を持った試料を作成し、巨大コヒーレント非線形効果を発現させる。(4) 非線形性と増強するのに有効な材料形態の開発を行う。(5) 新しい非線形光デバイスのプロトタイプを構築する。これらをもって、「光の世紀」である21世紀の光デバイス実現の突破口の一つとする。

2. 研究の内容

(1) 世界最短光パルスの生成と分光応用

凝縮系の位相緩和や化学反応などの過程は、数フェムト秒から数十フェムト秒という非常に早い時間領域における現象である。これらの過程を追跡するには10フェムト秒を下回るような極超短光パルスが必要であり、しかも波長可変性を有していることが望ましい。本研究では、非平行光パラメトリック増幅(OPA)という画期的手法(右図)を用いて、世界で初めて波長可変なサブ10fsパルス及び可視域サブ5fsパルスの発生(次ページ図)に成功した。本光源を用いることにより、超高速有機非線形光学材料の機構解明と新規材料の探索が一気に加速されるものと期待できる。



(2) 新規有機非線形材料の合成

3次非線形光学材料として有機一次元物質が有望である。本研究では、一次元 π 電子共役主鎖を有するポリジアセチレン(PDA)を対象とし、新規な非線形光学材料の合成を試みる。従来合成されてきたPDAは主鎖-側鎖非共役型が主であったため、主鎖の π 電子共役構造が不変であり、より一層の機能向上は期待できなかった。また、良質で大きな単結晶の作製が容易でないことも光学材料としての利用に制限を与えてきた。これらの問題点を改善すべく、1. ラダー型PDA、2. 共役主鎖に複素環が直接結合したPDA、の新規PDA化合物の合成を行っている。従来のPDAに比べ材料中の π 電子密度が向上し、それに伴い、3次非線形光学特性の高揚が期待される。また、後者においては芳香環が導入されたことにより大結晶化が見込まれる。

結晶の新しい材料化手法としてPDAの微結晶化も検討する。この方法における微結晶生成機構を解明し、微結晶サイズのさらなる微小化を行う。さらに、超高速光・光応答評価用試料作製のための薄膜材料化にも着手する。

(3) 有機非線形光学材料のフェムト秒非線形光学応答

有機擬一次元系の超高速非線形光学特性の発現機構を解明する目的で、フェムト秒パルスを用いた過渡分光を行う。対象物質は、PDA、色素J会合体、及び、擬一次元ハロゲン架橋金属錯体を用いる。

PDAは強い励起子・格子相互作用により、極めて速い構造緩和の後に自己束縛励起子による光学非線形性が観測される。この構造緩和過程の可視域波長可変フェムト秒パルス光による時間分解測定を行う。特に生成初期の自由励起子と結

合した振動状態の波束運動を実時間領域で測定することによって、構造緩和過程の詳細を解明する。

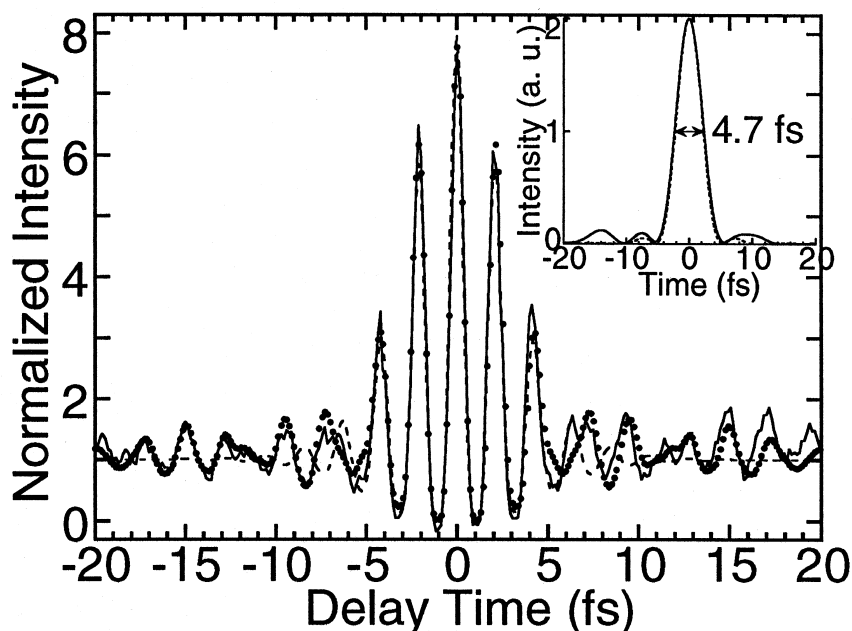
J会合体の超高速非線形分光は、二準位分子を一行に並べたモデルで二励起子状態に関する非線形性を考察してきた。しかしながら、現実の系における非線形応答を議論する上では、二励起子状態に加えて、会合体の構成分子の S_2 状態の寄与も考慮する必要がある。そこで、三準位系分子の構成する会合体のフェムト秒非線形光学応答を測定し、二準位系との比較を行うことにより、超高速非線形性の多準位効果を明らかにしていく。

擬一次元ハロゲン架橋金属錯体は一次元系物質として注目され、光を照射することにより自己束縛励起子、ソリトン、ポーラロン

等の非線形素励起を形成することが知られているが、定常吸収エネルギーの小さな錯体においては伝導帯付近を光励起すると荷電ソリトン及びポーラロンが生成されることが示されている。フェムト秒近赤外分光により、多様な非線形光学応答の起源となる素励起を同定をしていく。

(4) 共振器量子電気力学効果の非線形光学

本研究では、薄膜試料を応用した微小共振器構造を作成し、より高性能な非線形光学材料形態の開発を目指す。微小共振器内での双極子相互作用の増強により、一次元励起子の振動子強度を増大させ、さらに特定の共振器モードとの結合を強くできるので、新しい非線形光学デバイス材料が構築できる可能性を持つ。微小共振器構造は、試料を反射鏡の上に膜の厚さを波長程度に制御しな



がらコートし、さらにその上面に反射鏡を蒸着して、ファブリ・ペロー共振器を形成する。この微小共振器の共振波長を一次元物質の励起子吸収帯に同調させる。この新規材料の性能評価に時間分解吸収・発光分光法を用いる。

3. 研究の体制

期 間：1997年6月～2002年3月

構 成：プロジェクトリーダー：小林孝嘉（東京大学大学院理学系研究科教授）

コアメンバー：3名、研究協力者30名

実施場所：東京大学大学院理学系研究科 文京区本郷7-3-1