

訪問日 2015年7月21日

東北大学 大学院理学研究科・理学部 物理学専攻 伊藤 弘毅 助教

研究題名：有機強誘電体を用いたテラヘルツ帯電磁波の高効率発生と、その超高速光制御

東北大学・伊藤弘毅先生を訪ねて

当日は専門外の我々でも理解しやすいよう、研究の背景と研究の全体像からご説明いただきました。これまで先生は、有機強誘電体 α - $(\text{ET})_2\text{I}_3$ が、代表的素子である ZnTe の70倍以上と高効率で THz 波を発生すること、しかもそれが 0.1ピコ秒（10兆分一秒）と超高速光制御ができることを突き止めました。この有機強誘電体の追及と、更にこの THz 波を用いた物理の深化に貢献しようというのが研究の目的です。

当日は THz 電磁波とは何かなど基礎から説明いただきました。THz 波発生素子は大きく2つに分けられます。1つは光伝導アンテナで、2つ目が非線形光学結晶にフェムト秒パルス当て THz 波パルスを発生させるもので、電気分極が大きい（非線形光学係数が大きい）材料が高効率化の鍵となります。LiNbO₃、ZnTeなどが知られています。この電気分極が自発的に整列し、向きも制御できる物質が強誘電体で、 α - $(\text{ET})_2\text{I}_3$ も強誘電体であり有力候補と考えたそうです。 α - $(\text{ET})_2\text{I}_3$ は全体として中性となっている電荷移動錯体であり、ETは bis(ethylenedithio)-tetrathiafulvalene と呼ばれる有機分子です。

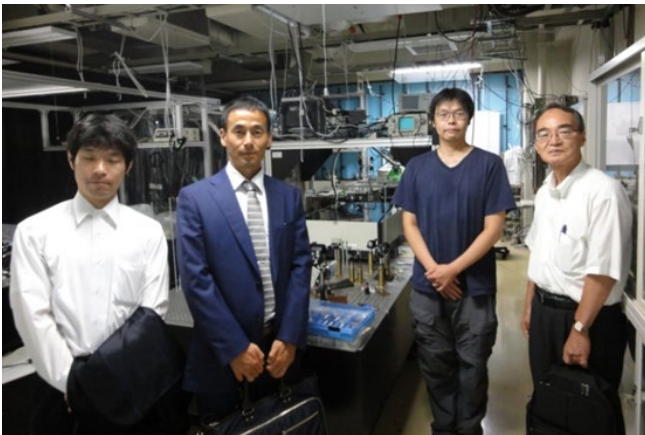
このような物質がなぜ高効率に、高速に応答できるのかと言うと、強相関電子系と呼ばれるものがキーワードのようです。個別の材料特性である、金属／絶縁体、半導体、超伝導、磁性、強誘電などの性質を全て実現でき得るものが強相関電子系です。物質の中で電子が反発する性質、電子間のクーロン相互作用がそのからくりで、強相関電子系は現在物質科学の一分野を形成しています。強相関電子系は絶縁体と紙一重の状態にあり、原子の周りに2つ電子がくると大きくクーロン反発力が働き、非常に不安定な状態になります。先生曰く電子が「押し競饅頭」（動けない）をしているように、電子が規則正しく整列することが起こり、電子が自由に動けず絶縁体になります（電荷秩序）。これが電子間同士で起こるのが味噌で、電子の作用だけで物質の両極端の性質である金属と絶縁体が紙一重の状態にあるのが強相関電子系の面白さとのことです。この電荷の偏りによる自発分極が高効率にテラヘルツ波発生を誘因し、これが「電子強誘電性」と呼ばれる新しいタイプの強誘電性です。自発分極は元々分極した状態であることから、電界により更に大きな分極が生じ、それによる効果が増幅されます。また、従来の自発分極は電子ではなく原子が動くことで生じ、それなりの効果がありますが、原子核が電子に比し重く動きにくいという問題があります。一方、強相関電子系は電子の力だけのため非常に多くの性質を高速に生み出すことができます。尚、電子が主役となった強誘電体は無機物より有機物の方が数多く見つかっています。電子強誘電体は非常に速い応答を示し、1ピコ秒、6フェムト秒の光を使うことで一瞬で状態を変えられる可能性があります。 α - $(\text{ET})_2\text{I}_3$ は温度 135 K で一気に金属-絶縁体転移を示します。

元々研究室では、光により一瞬（10兆分一秒以下）で絶縁体を金属に変えられる光誘起金属転移現象を見出し、精力的に研究されてきているとのことです。この現象は一瞬だけ金属となることから、直流の導電性のレベルはなかなか評価できないようで、逆にこの一瞬しか存在しないところに強相関電子の本質があると考えています。12フェムト秒の超短光パルスで金属になる過程を調べてたり、テラヘルツ光を使って物性の評価などを行っています。更にもっと強い光を当てると金属が絶縁体に戻る現象も発見したとのことです。

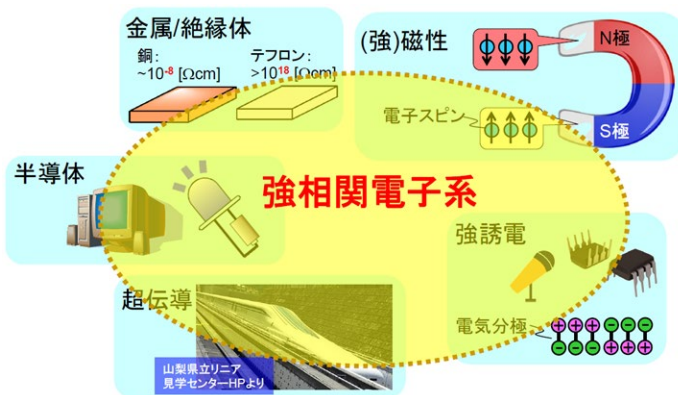
$\alpha-(\text{ET})_2\text{I}_3$ に光を当てると金属から強誘電状態に転移する際にテラヘルツ波が一気に出ますが、別の光を当てることで強誘電体は金属状態になり、金属状態はTHz波を発生できません。すなわち光でTHz波発生を制御できる可能性を持ちます。実際の強誘電体中では電荷の分極の方向が揃ってなく、正反対に分極したドメイン構造に光を照射すると、それぞれのドメインから生じるTHz波の位相が逆となり相殺されてしまい、THz波出力が弱くなり、過少評価になります。その問題を解決するために顕微THz波発生技術を使い、局所シングルドメインでTHz波を評価することで、発生する真のTHz波の実力が分かります。

電子強誘電性、更に強相関電子系の魅力とその大きな可能性を感じた訪問でした。

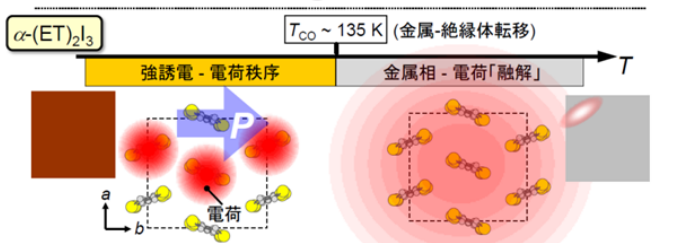
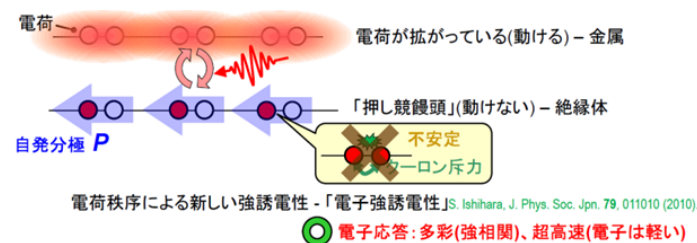
(2015年7月21日訪問、技術参与・飯塚)



右から2人目が伊藤先生



強相関:電子間クーロン相互作用 => 多彩な性質の実現・制御



電子強誘電体 $\alpha-(\text{ET})_2\text{I}_3$