

田中耕一郎

京都大学大学院理学研究科

プロフィール：昭和37年11月18日生まれ

【勤務先】 京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻 助教授 理学博士

【経歴】 昭和60年3月 京都大学理学部卒業、平成2年3月 京都大学大学院理学研究科博士課程修了、平成2年4月 東京大学物性研究所助手、平成7年1月 科学技術振興事業団 ERATO平尾誘起構造プロジェクト研究員、平成9年1月から京都大学大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻 助教授、平成11年～平成13年 東京大学物性研究所 客員助教授（併任）、平成11年より科学技術振興事業団さきがけ研究21「状態と変革」研究者（兼担）

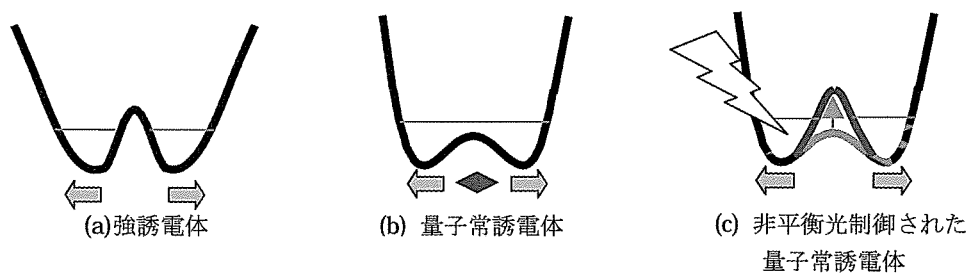
【専門】 光物性、レーザー分光 【趣味】 山登り、クラシック音楽鑑賞、酒盛り、衝動買い

【連絡先】 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町、E-mail: kochan@scphys.kyoto-u.ac.jp

量子常誘電相の解明と光誘起強誘電相転移

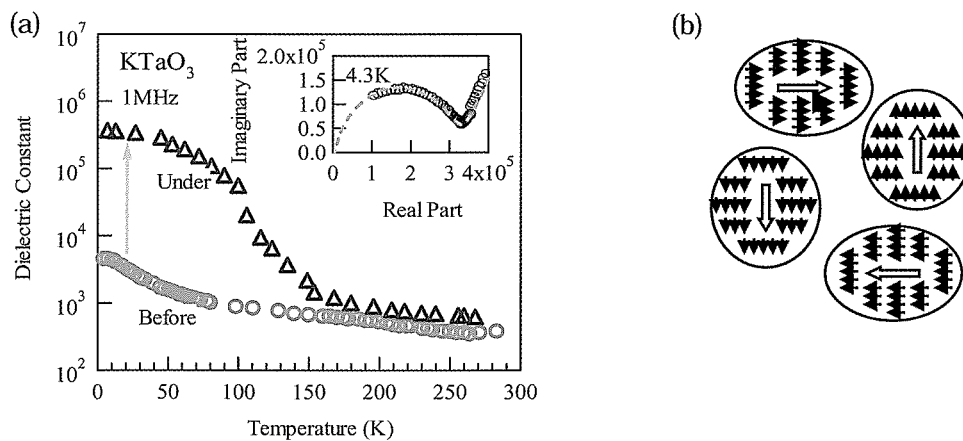
量子常誘電状態は、液体ヘリウムが常圧下で固体にならない原因が量子力学的効果（ゼロ点振動）であるのと同様に、固体中のフォノンのゼロ点振動によって強誘電相転移が妨げられている状態であると考えられている。1991年にMüller (IBM Zurich Lab.) らは量子常誘電体のひとつであるSrTiO₃において37K付近にESR測定により相転移類似の現象を見だし、新たな低温相のモデルとして、He IIに相当するマクロな量子状態 (Müller State) を提案している。また、少量のキャリアドーピング ($n = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) で絶縁体—金属転移し低温で超伝導も示すなど、キャリアを導入したときの量子常誘電体の物性変化は非常に特異である。さらに、少量の不純物 ($n = 10^{19} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) の濃度のドーブや酸素の同位体置換、電場を印加などにより強誘電相が発現することがわかってきた。しかし、「量子常誘電状態」の動的構造や強誘電性の発現機構などは未だに明らかになっていない。

研究代表者は非線形レーザー分光を量子常誘電体SrTiO₃でおこない、様々な非線形光学応答を観測するとともに、反転対称性の破れを示すハイパーレイリー散乱 (SHG) の温度依存性、角度依存性、時間相関などの測定から、量子常誘電相にはピコ秒程度で揺らぐマイクロメートルサイズの強誘電ドメイン構造が存在することを明らかにした。これらの結果から、量子常誘電相のSrTiO₃は強誘電相転移直前の物質であり、常誘電相中に動的な強誘電ドメインが形成されている可能性が高いことが示唆される。さらに研究代表者は「非平衡光制御によって量子常誘電相に内在する量子揺らぎを抑圧し、新しい物性が出現しないか？」というコンセプトで光照射下での誘電率の測定を系統的におこなった。これは、第1図(c)に示すように、非平衡光制御による局所ポテンシャル変形を通じてマクロな秩序形成ができないかという発想である。その結果、以下で述べるような光照射による巨大分極形成や特異な分散を見出した。



第1図 強誘電体(a)、量子常誘電体(b)の局所ポテンシャル。量子常誘電体においては、零点振動のため秩序(図の右向きまたは左向き矢印)が形成されない。非平衡光制御により量子常誘電体の局所ポテンシャルを(a)に変形すれば強誘電体が形成されると期待される(c)。

量子常誘電体SrTiO₃にバンドギャップより大きい光子エネルギーをもつ紫外線を照射して誘電率測定をおこなった。光の照射により誘電率が1桁から2桁以上も変化することがわかった。この現象はDCバイアスに対して敏感であり、弱い光においても外場との組み合わせで1桁以上の増大が見られる。同様の現象は同じ量子常誘電体であるKTaO₃においても観測された。第2図(a)にKTaO₃における結果、ならびに挿入図に誘電分散のCole-Coleプロットを示す。緑色点線で示す半円形の成分は誘電率増大の原因がデバイ緩和をしめす巨大双極子の存在にあることを示している。緩和の温度変化、光励起密度依存性は通常の有極性液体などの永久双極子とはまったく異なることから、これまでにないエキゾチックな誘電状態が非平衡光励起により作られたことが示唆される。SHG測定、外場依存性、光照射条件や光誘起吸収などの結果から、誘電体—電極界面でのショットキバリアが原因である可能性は小さいことを示すことができるため、これらの現象は量子常誘電体そのものの現象であると結論付けられる。したがって、第2図(b)に示すような強誘電ナノドメイン構造が生じている可能性が高い。講演では、ナノ構造モデルによる考察について詳細に述べる。



第2図 (a) KTaO_3 における光誘起巨大分極形成。光を当てると赤から青に誘電率が2桁増大する。挿入図はその分散をCole-Coleプロットしたもの。
 (b) 光誘起強誘電マイクロドメインモデル。光励起キャリアを中心に強誘電ドメインが形成される。

〈さきがけ研究期間中に発表した関連論文〉

1. 'Valence-Band Structures of Quasi-One-Dimensional Crystals $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NH}_2\text{PbX}_3$, [X=I, Br]', Jyunpei Azuma, Koichiro Tanaka, Masao Kamada, Ken-ichi Kan'no, J. Phys. Soc. Jpn., vol. 71, No. 11, (2002)
2. 'Two Types of Self-Trapped Excitons in a Quasi-One-Dimensional Crystal' Junpei Azuma, Koichiro Tanaka and Ken-ichi Kan'no, J. Phys. Soc. Jpn. 71, 1-7 (2002)
3. 'Photo-induced polaron states in strontium titanate', Tomoharu Hasegawa and Koichiro Tanaka, J. Luminescence 94-95 15-18 (2001).
4. 'Electron spin resonance study of the photo-induced phasetransition in the spin-crossover complex' Masanobu Shirai, Naoki Yonemura, Takeshi Tayagaki, Ken-ichi Kan'no and Koichiro Tanaka J. Luminescence 94-95 529-532 (2001).
5. 'Photoinduced phase transition to a new macroscopic phase in spin-crossover complex' Takeshi Tayagaki and Koichiro.Tanaka, J. Luminescence 94-95 537-540 (2001).
6. 'Photoinduced phase transition to a new macroscopic spin-crossover-complex phase' Takeshi TAYAGAKI and Koichiro Tanaka, Phys. Rev. Lett. 86 (2001), 2886
7. 'Symmetry lowering in the photoinduced phase in spin-crossover complexes' Takeshi TAYAGAKI, Koichiro TANAKA, Naoki YONEMURA, Masanobu SHIRAI, and Ken-ichi KAN'NO, International Journal of Modern Physics B, Vol. 15, Nos. 28, 29 & 30 (2001) 3709-3713
8. 'Retrieved Anisotropy of One-Dimensional Crystal Piperidinium-Triblplomplumbate' Junpei Azuma and Koichiro Tanaka,, International Journal of Modern Physics B, Vol. 15, Nos. 28, 29 & 30 (2001) 3646-3650
9. 'Localizing nature of photo-excited states in SrTiO_3 ' Tomoaki HASEGAWA, Masanobu SHIRAI and Koichiro TANAKA, Journal of Luminescence. 87-89 (2000), 1217-1219.