

励起子工学研究チーム

Exciton Engineering Laboratory

チームリーダー 石原 照也
ISHIHARA, Teruya

励起子は半導体を光励起した際に生成される分極の素励起である。当研究チームでは励起子と光の相互作用を制御して新奇な物理現象を見だし、デバイスへの応用を検討することを目指している。光を制御するには光の波長程度の周期構造を、ナノリソグラフィーを用いて作製し、対称性や励起子との結合を調整する。励起子に対しては数ナノメートル程度の低次元構造を化学的な手法で作製し、束縛エネルギーや振動子強度を制御する。これらを組み合わせることにより、超高速発光や巨大光学非線形性などをもたらすための、新しいメカニズムとその周辺の新しい物理を探索している。

1. 周期構造の光学応答

(1) ポラリトニック結晶スラブの光学応答理論 (Yablonskii, Tikhodeev^{*1}, 石原)

散乱行列法を用いて一次元および二次元フォトリソニック結晶スラブ導波路の光学応答を、励起子共鳴を導入して計算した。フォトリソニックバンドの周期依存性、偏光依存性、電場分布について調べ、実験結果を説明することに成功した。固有モードと透過スペクトルのディップの関係、モードの対称性について新たな知見が得られた。

(2) 二次元フォトリソニック結晶スラブの作製と光学応答 (島田^{*2}, 石原, Yablonskii)

電子ビーム描画と ECR エッチングで周期 700 nm 程度の正方格子を石英基板上に作製した。透明なポリスチレン、励起子共鳴をもつ無機有機複合ペロブスカイト結晶をスピコートし、偏光に依存した分散関係を測定した。

2. 励起子超放射

(1) 無機有機複合ペロブスカイト化合物の薄膜モフォロジーと発光寿命 (盧, 石原)

スピコートの条件により薄膜のモフォロジーが変化することが原子間力顕微鏡によって確かめられた。励起子のコヒーレンス面積の大小によって超放射寿命が変化することを期待したが、現状の実験条件では有意な変化をもたらさなかった。

3. 光学非線形性

(1) 無機有機複合ペロブスカイト半導体における励起子非線形光学応答の研究 (清水, Neogi, 石原)

($C_6H_5C_2H_4NH_3$)₂PbI₄ の薄膜の光学非線形応答をサブピコ秒ポンププローブ法により調べ、励起子吸収のブロードニング、レッドシフト、ブルーシフトが励起波長、偏光の違いによって生じることが分かった。非線形性の起源は主として光学シュタルク効果、励起子分子、位相空間充填効果によるものと考えられる。一次元フォトリソニック結晶スラ

ブにこの物質をスピコートした試料に対しても同様の実験を行い、準導波路モードの生成によるディップが超高速にシフトすることを実証した。

(2) メソスコピックな反転対称性の破れによる二次光学非線形性の理論 (越野, 石原)

ミクロスコピックには対称性があるが、もうすこし大きなスケールでは反転対称性を欠くような微細構造に対して、二次の光学非線形応答を計算した、サイズ依存性を議論した。

(3) メソスコピックな非対称性による第二次高調波生成 (中島^{*2}, 石原)

石英基板上に電子ビームリソグラフィーで光波長程度の寸法の微細パターンを作製し、近赤外のナノ秒を照射することにより、物質そのものは二次の光学非線形性をもっていなくても第二次高調波が発生することがあることを実証した。

(4) 無機有機複合ペロブスカイト化合物の 2 光子吸収過程 (藤本^{*2}, 石原)

($C_6H_5C_2H_4NH_3$)₂PbI₄ の単結晶に透明領域ナノ秒光パルス照射すると、励起強度の 2 乗に比例した励起子発光が観測された。これは 2 光子吸収により結晶が励起されたことを意味する。発光強度依存性より励起子内部運動の励起状態について知見を得た。

^{*1} フロンティア研究推進委員, ^{*2} 研修生

誌上発表 Publications

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Shimizu M., Suto S., and Goto T.: "Theory and numerical study of exciton dynamics in a disordered linear chain", *J. Chem. Phys.* **114**, 2775–2783 (2001). *

Muljarov E. A., Yablonskii A., Tikhodeev S. G., Bulatov A. E., and Birman J. L.: "Hyperspherical theory of anisotropic exciton", *J. Math. Phys.* **41**, 6026–6041 (2000). *

Isoshima T., Noh T., Koma A., Wada T., and Sasabe H.: "Anisotropy of transient absorption change in planary oriented metallophthalocyanines", *Nonlinear Opt.* **24**, 117–122 (2000). *

Okubo T., Kitagawa S., Masaoka S., Furukawa S., Kondo M., Noh T., Isoshima T., Wada T., and Sasabe H.: "Third-order nonlinear optical properties of a copper(I) trinuclear complex with D3h symmetrical radical ligand", *Nonlinear Opt.* **24**, 129–132 (2000). *

Koshino K. and Ogawa T.: "Electronic phase conversion by photoinjection of excitations", *Phys. Rev. B* **61**, 12101–12111 (2000). *

Shimizu M., Suto S., Goto T., Watanabe A., and Matsuda

M.: "Temperature dependence of exciton dynamics in poly (di-*n*-hexylsilane)", Phys. Rev. B **63**, 073403-1-073403-4 (2001). *

(その他)

越野和樹, 小川哲生: "光による電子相転移の制御", 日本物理学会誌 **55**, 861-863 (2000).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Yoshida H., Mozume T., Neogi A., Georgiev N., Akiyama T., and Wada O.: "Ultrafast all-optical switching using near-infrared intersubband transition down to 1.55 μm in InGaAs/AlAsSb quantum well structures", 7th Int. Workshop on Femtosecond Technology, (FESTA, JITA, NEDO), Tsukuba, June (2000).

Ishihara T.: "Optical properties of $(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3)_2\text{PbI}_4$ film on grating substrates", 3rd Asian Symp. on Organized Molecular Films for Electronics and Photonics & 11th Molecular Electronics and Devices Symp., Seoul, Korea, July (2000).

Koshino K. and Ogawa T.: "Theoretical study on the photoinduced dynamics in a multistable electronic system", 2000 Int. Conf. on Excitonic Processes in Condensed Matter (EXCON 2000), (Yamada Science Foundation), Osaka, Aug. (2000).

Kajita M., Shimizu M., Neogi A., and Ishihara T.: "Ultrafast photo-induced absorption change in inorganic-organic multi quantum well compound", 2000 Int. Conf. on Excitonic Processes in Condensed Matter (EXCON 2000), (Yamada Science Foundation), Osaka, Aug. (2000).

(国内会議)

Yablonskii A., 石原照也, Muljarov E. A., Gippius N. A., Tikhodeev S. G.: "Theory of transmission properties of 1-dimensional polaritonic crystals", 文部省科研費特定領域研究(B)「フォトリニク結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, 札幌, 7月(2000).

Yablonskii A., 石原照也, Muljarov E. A., Gippius N. A., Tikhodeev S. G.: "ポラリトニック結晶の理論: I. 透過スペクトル", 日本物理学会第55回年次大会, 新潟, 9月(2000).

藤本英臣, 山西正道, 石原照也: "自然量子井戸結晶 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3)_2\text{PbI}_4$ の2光子吸収スペクトル", 日本物理学会第55回年次大会, 新潟, 9月(2000).

石原照也: "励起子の導入によるフォトリニク結晶の機能拡張", 2000年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 名古屋, 9-10月(2000).

石原照也, Yablonskii A.: "分布帰還型微小共振器におけるポラリトン効果", 科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業(CREST)第4回シンポジウム「量子効果等の物理現象」, 東京, 12月(2000).

清水誠, Neogi A., 石原照也: "無機有機層状ペロブスカイト化合物の超高速ポンププローブ分光", 科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業(CREST)第4回シンポジウム「量子効果等の物理現象」, 東京, 12月(2000).

越野和樹, 石原照也: "メソスコピックな反転対称性の破れによる二次の光学非線形性の理論的研究", 第11回光物性研究会, (大阪大学), 大阪, 12月(2000).

石原照也: "励起子共鳴を導入した周期構造", 日本光学会第27回冬季講習会, (応用物理学会), 東京, 1月(2001).

清水誠, 島田良子, Yablonskii A., 盧泰用, 石原照也: "層状ペロブスカイト半導体を埋め込んだ分布帰還型薄膜導波路における光誘起超高速透過率変化", 第48回応用物理学関係連合講演会, 東京, 3月(2001).

島田良子, 石原照也: "励起子共鳴を有する2次元周期構造の作製とその光学特性", 第48回応用物理学関係連合講演会, 東京, 3月(2001).

黒野暢仁, 島田良子, 石原照也, 下村政嗣: "自己組織化八二カムフィルムの光学的性質", 日本化学会第79春季年会, 神戸, 3月(2001).

越野和樹, 石原照也: "メソスコピックな反転対称性の破れによる二次の光学非線形性", 日本物理学会第56回年次大会, 八王子, 3月(2001).

清水誠, 盧泰用, Neogi A., 石原照也: "自然量子井戸化合物 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3)_2\text{PbI}_4$ の超高速励起子吸収変化", 日本物理学会第56回年次大会, 八王子, 3月(2001).

Yablonskii A., Muljarov E. A., Gippius N. A., Tikhodeev S. G., 石原照也: "低次元ポラリトニック結晶における光電場分布と光学応答", 日本物理学会第56回年次大会, 八王子, 3月(2001).

Research Subjects and Members of Exciton Engineering Laboratory

1. Optical Response of Periodic Structures

(1) Theory of Optical Response for Polaritonic Crystal Slab

(2) Fabrication and Optical Response of Two-Dimensional Photonic Crystal Slab

2. Exciton Superradiance

(1) Thin Film Morphology and Radiative Lifetime of Inorganic-Organic Perovskites

3. Optical Nonlinearity

(1) Excitonic Nonlinear Optical Response in Inorganic-Organic Perovskite Semiconductors

(2) Second-Order Nonlinearity Through Mesoscopically Broken Inversion Symmetry

(3) Second Harmonic Generation Due to Mesoscopic Asymmetry

(4) Two-Photon Absorption in Inorganic-Organic Perovskites

Head

Dr. Teruya ISHIHARA

Research Scientists

Dr. Taeyong NOH

Dr. Makoto SHIMIZU

Dr. Alexander YABLONSKII
Dr. Kazuki KOSHINO
Dr. Arup NEOGI

Visiting Members and Postdoctoral Fellows

Prof. Sergei TIKHODEEV (Gen. Phys. Inst., Russia)
Prof. Maurice SKOLNICK (Sheffield Univ., UK)
Dr. Yoshiko OKADA (Electro-Commun. Univ.)

Trainees

Dr. Ryoko SHIMADA (Grad. Sch. Sci., Jpn. Women's Univ.)
Mr. Hideomi FUJIMOTO (Grad. Sch. Adv. Sci. Matter, Hiroshima Univ.)
Mr. Hisashi NAKASHIMA (Grad. Sch. Adv. Sci. Matter, Hiroshima Univ.)