

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：34408

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740210

研究課題名(和文) 超高品質半導体薄膜中の光・励起子間長距離強結合がもたらす非線形光学応答の増強

研究課題名(英文) Enhancement of nonlinear optical response due to long-range strong interaction between light and excitons in semiconductor thin films with high crystalline quality

研究代表者

一宮 正義 (ICHIMIYA, Masayoshi)

大阪歯科大学・歯学部・講師

研究者番号：00397621

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)： 独自技術であるMBE法をベースとした成膜では電子線照射における加速電圧の制御によって更なる高品質化に成功した。さらに、光学非線形の定量的評価に優れ、光スイッチ等で広く利用されている光カー効果の測定系を立ち上げ、スペクトル及び応答速度の測定を行った。得られたスペクトルは複数の鋭いピークを持ち、各ピークの光子エネルギーが光・励起子長距離強結合効果による輻射シフトを含めた励起子固有エネルギーと一致する特異な形状を示すことが明らかになった。また、輻射緩和時間も輻射幅を反映し、光との整合性が高い励起子モードにおいてはバルク結晶の励起子輻射寿命を3桁上回る100fs級超高速光カーゲートの観測に成功した。

研究成果の概要(英文)： I have successfully verified that the resonant optical Kerr spectrum shows the anomalous mode structures similar to that of degenerate four-wave mixing in a high-quality CuCl thin film. The spectral shape reflects the radiative shift and width due to harmonized wave-wave coupling between light and multinode-type excitons. The components for the excitonic states with the large radiative width in the Kerr spectrum show ultrafast responses with the order of 100 fs, which are consistent with the calculated radiative decay times of excitons. These agreements between experimental results and the calculated mode structures suggest that the resonant optical Kerr response below 10 fs will be achieved for a CuCl thin film with high crystalline quality and appropriate film thickness.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性

キーワード：光物性 励起子

## 1. 研究開始当初の背景

半導体結晶において光による電子励起を考える際、結晶中における光の波と電子励起の波のスケールの違いにより、系のサイズに応じた全く異なるモデルが適用されてきた。ナノ結晶における光学応答は、サイズが光の波長よりも十分小さいことに加えて共鳴励起によって生じる励起子の重心運動が閉じ込めを受けることを考慮し、結晶内部における光の位相を一定とした長波長近似 (LWA) によって説明がなされてきた。このとき非線形光学応答は系のサイズに応じて増大するものの、光の空間構造を考慮する必要があるサイズ領域に差し掛かると LWA が破綻するため、応答の増大には限度があると信じられてきた。一方で、もしそのようなサイズ領域においても励起子のコヒーレンスが結晶全体に広がるほど結晶性の高い系を実現することができれば、節を持つ  $n = 2$  励起子と光との空間的インタープレイにより、LWA の枠組みを超えた高効率非線形応答が可能となる。半導体材料における光学応答の輻射効率や速度の向上は光ゲートデバイス等の進歩に不可欠であるが、高効率応答を得るために励起子の実励起を伴うと、速い物質でも数 10 ps 程度である長い輻射寿命の影響により応答速度が制限されるという問題が立ちだかっている。高品質微小結晶において発現する光と励起子との特異な結合様態はこのトレードオフ問題を乗り越えるための有望な手段であり、結晶性の向上及びサイズの最適化によって特定の励起子モードと光波が広範囲に渡って整合する系を構築できれば、輻射効率・応答速度の双方においてバルク結晶や従来のナノ構造を凌ぐ超高機能光デバイスの実現へ繋がる。I-VII 族半導体 CuCl は 0.2 eV と巨大な励起子束縛エネルギーを持つうえに顕著なポラリトン効果を示すなど光と励起子の相互作用が強い物質として知られており、励起子ボース半径が 0.7 nm と極端に小さいため励起子重心運動の量子化が関係した現象の発現に最適である。その一方で、成膜技術に関しては III-V 族や II-VI 族に遅れを取っており、単結晶薄膜を得ることは困難とされてきた。応募者は分子線エピタキシーによる成膜法に電子線照射を取り入れた新奇技術を発展させ、位相緩和定数 ( ) が 0.4 meV を下回るほど光学的品質が高く、表面モフォロジーにも優れた薄膜の作製法を確立した。その高品質薄膜において典型的な非線形光学過程である縮退四光波混合 (DFWM) のスペクトルを測定すると、従来の製法による試料においては一度も観測されたことがなかった複数のピークが見られ、各ピークにおける光子エネルギーが光・励起子間強結合による輻射補正を加味した各励起子の固有エネルギーと一致し、スペクトル形状は理論計算による誘起分極スペクトルと一致することが明らかになった。また、過渡回折格子法による励起子輻射緩和特性

の測定においては、輻射補正の虚部である輻射幅が大きい励起子モードが本来の CuCl 励起子より数桁速い 100 fs 級の超高速応答を示すことに明らかにした。そこで、超高速輻射緩和を示す励起子モードなら高温領域においても位相緩和の影響を受けるよりも速く輻射すると考え、DFWM スペクトルの温度による変化を測定したところ、温度上昇に伴って輻射幅の小さい励起子モードから順に構造が消滅していったものの、膜厚 310 nm の例では最も大きい輻射幅を持つ  $n = 5$  励起子を示す構造は温度を上げてほとんど強度が低下せず、CuCl においては初となる室温における非線形信号観測に成功した

## 2. 研究の目的

励起子のコヒーレンスが全体に広がるほど結晶性の高い系では重心運動の閉じ込めによる励起子の波動性が顕現し、長波長近似が適用できないナノからサブミクロンに差し掛かるサイズ領域においても広範囲・複数波長にわたる光波動と励起子波動の整合が実現する。本研究では、複雑な機構に頼らず半導体薄膜における結晶性の向上のみを徹底することによって光と励起子の空間的インタープレイによる高効率非線形応答を達成するとともに、光学非線形性を定量的に評価できるシステムを開発することによって、トレードオフの関係にあると信じられてきた非線形光学応答の効率と速度の双方が両立できることを実験的に示す。

## 3. 研究の方法

本研究では光と励起子の相互作用が強いうえに励起子が関与した線形・非線形光学応答に関する研究成果が蓄積されている CuCl を用いる。試料作製面では、分子線エピタキシー (MBE) 法に電子線照射を加えた応募者独自の高品質薄膜作製技術をベースに、ソース、バッファ層、基板へ工夫を加えることによって結晶性、膜厚制御精度の更なる向上を達成し、光・励起子間相互作用の精密なコントロールを実現する。光学実験面では、偏光回転を利用した光学非線形性評価システムの構築を行う。これをこれまで行ってきた励起子輻射緩和特性の測定と併せて品質・膜厚精度に優れた試料に対して実行することによって、従来はトレードオフの関係にあるとされてきた非線形応答の効率と速度の双方が結晶性の高い単純な薄膜構造において劇的に向上できることを示し、精細な膜厚依存測定より光学非線形性がどこまで強められるかの探求を行う。

## 4. 研究成果

独自技術である MBE 法をベースとした成膜では電子線照射における加速電圧の制御によって更なる高品質化に成功した。さらに、光学非線形性の定量的評価に優れ、光スイッチ等で広く利用されている光カー効果の測定

系を立ち上げ、スペクトル及び応答速度の測定を行った。得られたスペクトルは複数の鋭いピークを持ち、各ピークの光子エネルギーが光 - 励起子長距離結合効果による輻射シフトを含めた励起子固有エネルギーと一致する特異な形状を示すことが明らかになった。また、輻射緩和時間も輻射幅を反映し、光との整合性が高い励起子モードにおいてはバルク結晶の励起子輻射寿命を3桁上回る100fs級超高速光カーゲートの観測に成功した。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計8件)

二宮正義、芦田昌明、石原一、I-VII族化合物の精密薄膜制御による極限光学応答の発現、スマートプロセス学会誌、Vol. 2, No. 5, 2013, 245 - 250

#### 〔招待論文〕

DOI:10.7791/jspmee.2.245

Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Tomohiro Nagata, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, Nanoscopy for biological specimens via cathodoluminescence of Eu- and Zn-doped  $Y_2O_3$  nanophosphors, Opt. Express 21, 2013 25655 [査読あり]

DOI:10.1364/OE.21.025655

Masayoshi Ichimiya, Le Quang Phuong, Masaaki Ashida, and Tadashi Itoh, Growth of high-quality CuCl thin films by a technique involving electron-beam irradiation, J. Cryst. Growth 378, 2013, 372 [査読あり]

DOI:10.1016/j.jcrysgr.2012.12.103

Masayoshi Ichimiya, Kenta Kamizono, Naoya Okamoto, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, Optical Kerr Effect of Confined Excitons Coherently Coupled with Radiation Wave, CLEO-PR & OECC/PS 2013, Technical Digest, 2013, WPB-28 [査読あり]

DOI:10.1109/CLEOPR.2013.6600520

Le Quang Phuong, Masayoshi Ichimiya, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, Multiple light-coupling modes of confined excitons observable in photoluminescence spectra of high-quality CuCl thin films, Phys. Rev. B 86, 2012, 235449 [査読あり]

DOI:10.1103/PhysRevB.86.235449

Azusa Hattori, Masayoshi Ichimiya, Masaaki Ashida, and Hidekazu Tanaka, ZnO nanobox luminescent source fabricated by three-dimensional nanotemplate pulsed-laser deposition, Appl. Phys. Express 5, 2012, 125203

[査読あり]

DOI:10.1143/APEX.5.125203

Masayoshi Ichimiya, Hideki Yasuda, Masaaki Ashida, Hajime Ishihara, and Tadashi Itoh, "Room temperature superradiance due to coherent coupling between light and extended single quantum state," J. Non-Cryst. Solids 358, 2012, 2357 [査読あり]

DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2012.02.019

Mitsutake Ando, Shin-ichi Uozumi, Ikufumi Katayama, Masayoshi Ichimiya, Masaaki Ashida, and Jun Takeda, "Photoluminescence dynamics in CuCl thin films under high-dense one- and two-photon excitations," Phys. Status Solidi C 9, 2012, 2493 [査読あり]

DOI:10.1002/pssc.201200278

### 〔学会発表〕(計50件)

福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 二宮正義, 芦田昌明, 三宅淳, 荒木勉, 橋本守, 「希土類ナノ蛍光体を用いたマルチカラーカソードルミネッセンス・アップコンバージョン生体観察」, 日本生体医工学会専門別研究会若手発表会, 大阪市, 2014年3月15日.

Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Synthesis of nanophosphors for correlative cathodoluminescence, up-conversion, and near-infrared bioimaging", UK-Japan workshop on Nanophotonics, Metamaterials and Plasmonics, Osaka, Japan, March 14, 2014.

新岡宏彦, 古川太一, 福島昌一郎, 二宮正義, 三宅淳, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「カソードルミネッセンス顕微鏡と光学顕微鏡の融合」, 顕微鏡学会分科会バイオメディカルニューマイクروسコープ, 東京都, 2014年3月6日.

Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Visible to near-infrared luminescent nanoparticles for multimodal bioimaging on nanometer to millimeter scale", Japan Taiwan Bilateral Conference on Biomedical and Plasmonic Imaging, Taipei, Taiwan, February 26, 2014.

Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, " $Y_2O_3$ -based nanophosphors for

multi-colored cathodoluminescence and up-conversion luminescence bioimaging”, 1st. KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, Japan, February 3, 2014.

Hirohiko Niioka, Taichi Furukawa, Shoichiro Fukushima, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, A. Araki, and Mamoru Hashimoto, “Rare-earth doped  $Y_2O_3$  nanophosphors for biological cathodoluminescence imaging”, Las Vegas, USA, December 15-18, 2013.

村田寛幸, 馬越隆之, 一宮正義, 芦田昌明, 「高品質 CuCl の薄膜における光カー効果による超高速応答の観測」, 第 24 回光物性研究会, 大阪市, 2013 年 12 月 14 日.

Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, “Cathodoluminescence and up-conversion fluorescence bioimaging with rare-earth doped nanophosphors”, Super imaging 2013, Hamamatsu, Japan, December 2, 2013.

Hirohiko Niioka, Taichi Furukawa, Shoichiro Fukushima, Masayoshi Ichimiya, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, Mamoru Hashimoto,

“Upconversion fluorescence and CL imaging for multiscale biological imaging”, 平成 25 年度 日本分光学会年次講演会, 豊中市, 2013 年 11 月 21 日. 福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 三宅淳, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「電子線及び近赤外光照射による発光を用いたバイモダル生体観察」, 平成 25 年度日本分光学会国際シンポジウム・年次講演会, 豊中市, 2013 年 11 月 21 日.

福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 芦田昌明, 三宅淳, 荒木勉, 橋本守, 「電子線及び近赤外光照射による発光を用いたバイモダル生体観察」, 日本光学会年次講演会, 奈良市, 2013 年 11 月 14 日.

古川太一, 新岡宏彦, 福島昌一郎, 一宮正義, 市川聡, 永田智啓, 芦田昌明, 三宅淳, 荒木勉, 橋本守, 「カソードルミネッセンス顕微鏡を用いたバイオイメージング」, 日本機械学会第 5 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 仙台市, 2013 年 11 月 7 日.

福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 芦田昌明, 三宅淳, 荒木勉, 橋本守, 「マルチスケール生体イメージングを目指したカソードルミネッセン

ス・アップコンバージョンナノ蛍光体の作製」第 24 回バイオフロンティア講演会, 京都市, 2013 年 11 月 2 日.

福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 三宅淳, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「マルチスケール相関生体イメージングを実現するバイモダルナノ蛍光体の合成」, 応用物理学会関西支部平成 25 年度第 2 回講演会, 生駒市, 2013 年 10 月 9 日.

一宮正義, 木下 岳, 石原 一, 芦田昌明, 「量子閉じ込め励起子の波動共鳴による超高速光カー応答」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 京田辺市, 2013 年 9 月 19 日.

Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, T. Nagata, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, “Towards multicolor correlative light and cathodoluminescence imaging with using upconversion nanophosphors”, JSAP-OSA Joint Symposia 2013, Kyotanabe, Japan, September 19, 2013.

古川太一, 新岡宏彦, 福島昌一郎, 一宮正義, 市川聡, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「カソードルミネッセンス顕微鏡を用いたバイオイメージング」, 第 39 回レーザ顕微鏡研究会, レーザ顕微鏡研究会第 39 回講演会, 和光市, July 31, 2013.

Masayoshi Ichimiya, Kenta Kamizono, Naoya Okamoto, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, “Optical Kerr Effect of Confined Excitons Coherently Coupled with Radiation Wave,” 10th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim, and 18th OptoElectronics and Communications Conference / Phonics in Switching 2013 (CLEO-PR & OECC/PS 2013) Kyoto, Japan, July 3, 2013.

一宮正義, 神園建太, 木下岳, 岡本尚也, 石原一, 芦田昌明, 「高品質 CuCl 薄膜における超高速光カー応答」, ナノ学会第 11 回大会, 東京都, 2013 年 6 月 7 日.

福島昌一郎, 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 永田智啓, 三宅淳, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「アップコンバージョン発光とカソードルミネッセンスによる生体観察を目指した希土類ナノ蛍光体プローブの作製」, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 厚木市, 2013 年 3 月 29 日.

21 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 市川聡, 永田智啓, 三宅淳, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「カソードルミネッセンス生体イメージングのための微小希土類添加ナノ蛍光体作製」, 第 60 回応用物理学会

- 春季学術講演会, 厚木市, 2013年3月29日.
- 22 荒正人, 山神光平, 一宮正義, 芦田昌明, 多田博一, 「水熱合成法によるシリコン系ナノ粒子の作製とその発光特性」, 第60回応用物理学会春季学術講演会, 厚木市, 2013年3月28日.
  - 23 神園建太, 一宮正義, 村田寛幸, 石原一, 芦田昌明, 「CuCl 薄膜における光励起子結合の増強による励起子輻射緩和の高速化」, 日本物理学会第68回年次大会, 東広島市, 2013年3月28日.
  - 24 辻林徹, 一宮正義, 大野宣人, 「赤外レーザーを照射したアミノ酸の時間分解発光スペクトル」, 日本物理学会第68回年次大会, 東広島市, 2013年3月28日.
  - 25 神園建太, 一宮正義, 岡本尚也, 石原一, 芦田昌明, 「CuCl 薄膜における弱閉じ込め励起子の光力一効果」, 日本物理学会第68回年次大会, 東広島市, 2013年3月27日.
  - 26 Shoichiro Fukushima, Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Satoshi Ichikawa, Tomohiro Nagata, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Synthesis of rare-earth doped up-conversion and cathodoluminescence nanophosphors for correlative bioimaging," Focus on Microscopy 2013 (FOM2013), Maastricht, the Netherlands, March 26, 2013.
  - 27 Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Satoshi Ichikawa, Tomohiro Nagata, Jun Miyake, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Synthesis of Rare-earth doped nano phosphors for biological cathodoluminescence imaging," Focus on Microscopy 2013 (FOM2013), Maastricht, the Netherlands, March 25, 2013.
  - 28 Kenta Kamizono, Masayoshi Ichimiya, Hiroyuki Murata, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, "Enhancement of Exciton Superradiance in CuCl Thin Films under Oblique Incidence," 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Suita, Japan, December 11, 2012.
  - 29 Le Quang Phuong, Masayoshi Ichimiya, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, "Coherent Exciton-light Couplings in High-quality CuCl Thin Films," 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Suita, Japan, December 11, 2012.
  - 30 Hirohiko Niioka, Taichi Furukawa, Masayoshi Ichimiya, Tomohiro Nagata, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Rare-earth Doped Y2O3 Nanophosphors Synthesized for Bio-imaging with Using CL and Fluorescence Microscopy," 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Suita, Japan, December 11, 2012.
  - 31 Ryosuke Hasegawa, Ryuta Wakamatsu, Atsushi Koizumi, Hironori Ofuchi, Masayoshi Ichimiya, Dong-gun Lee, Yoshikazu Terai, Tetsuo Honma, Masaaki Ashida, and Yasufumi Fujiwara, "Luminescence Properties of Eu-doped GaN Grown by Selective-area Organometallic Vapor Phase Epitaxy," 8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Suita, Japan, December 10, 2012.
  - 32 神園建太, 一宮正義, 村田寛幸, 石原一, 芦田昌明, 「CuCl 薄膜における斜入射条件下での励起子輻射緩和の高速化」, 第23回光物性研究会, 大阪市, 2012年12月8日.
  - 33 辻林徹, 一宮正義, 大野宣人, 「赤外レーザー光照射で形成されたシステインからなる鎖状分子の発光」, 第23回光物性研究会, 大阪市, 2012年12月7日.
  - 34 新岡宏彦, 古川太一, 一宮正義, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「希土類添加Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ナノ蛍光体を用いたマルチモーダル蛍光・CL細胞イメージング」, 平成24年度日本分光学会国際シンポジウム・年次講演会, 東京都, 2012年11月27日.
  - 35 新岡宏彦, 古川太一, 一宮正義, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「希土類添加ナノ蛍光体粒子を用いた蛍光・CL細胞イメージング」, 生理研研究会・電子顕微鏡機能イメージングの医学・生物学への応用「高次機能イメージングの最先端」, 岡崎市, 2012年10月24日.
  - 36 古川太一, 新岡宏彦, 一宮正義, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「希土類添加Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ナノ蛍光体を用いたマルチモーダル蛍光・CL細胞イメージング」, 日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門主催第4回「マイクロ・ナノ工学シンポジウム」, 北九州市, 2012年10月22-24日.
  - 37 Azusa Hattori, Masayoshi Ichimiya, Masaaki Ashida, and Hidekazu Tanaka, "Extremely small luminescent ZnO nanobox structure fabricated by three-dimensional nanotemplate pulsed-laser deposition," 19th Workshop on Oxide Electronics (WOE19), Apeldoorn, the Netherlands, October 2, 2012.
  - 38 長谷川亮介, 若松龍太, 小泉淳, 大淵博宣, 一宮正義, 李東建, 寺井慶和, 本間

- 徹生, 芦田昌明, 藤原康文, 「OMVPE 法による Eu 添加 GaN の選択成長と発光特性評価」, 日本材料学会半導体エレクトロニクス部門委員会平成 24 年度第 1 回研究会, 和歌山市, 2012 年 9 月 29 日.
- 39 Masayoshi Ichimiya, Le Quang Phuong, Masaaki Ashida, and Tadashi Itoh, "Growth of high-quality CuCl thin films by a technique involving electron-beam irradiation," 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2012), Nara, Japan, September 24, 2012.
- 40 新岡宏彦, 古川太一, 一宮正義, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「光学顕微鏡とカソードルミネッセンス顕微鏡を用いたマルチモーダル細胞イメージング」, 第 50 回日本生物物理学会年会, 名古屋市, 2012 年 9 月 22 日.
- 41 Le Quang Phuong, Masayoshi Ichimiya, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, "Multiple light-coupling modes of confined excitons observable in photoluminescence spectra of high-quality CuCl thin films," 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜市, 2012 年 9 月 18 日.
- 42 辻林徹, 小川浩二, 秀島卓弥, 一宮正義, 高橋和敏, 東純平, 鎌田雅夫, 「システム溶液中で Ag 表面に作製した薄膜の光電子分光」, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 横浜市, 2012 年 9 月 18 日.
- 43 Taichi Furukawa, Hirohiko Niioka, Masayoshi Ichimiya, Tomohiro Nagata, Masaaki Ashida, Tsutomu Araki, and Mamoru Hashimoto, "Multimodal Imaging via Light Microscopy and Cathodoluminescence Microscopy for Biological Specimens with Rare-earth Doped Nanophosphors," 第 73 回応用物理学会学術講演会, 松山市, 2012 年 9 月 11 日.
- 44 Kenta Kamizono, Masayoshi Ichimiya, Hiroyuki Murata, Hajime Ishihara, and Masaaki Ashida, "Enhancement of coupling between light and excitons under oblique incidence in CuCl thin films," 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials (EXCON2012), Groningen, the Netherlands, July 5, 2012.
- 45 Toru Tsujibayashi and Masayoshi Ichimiya, "Luminescence of peptides made by the irradiation of infrared laser light to Lcysteine molecules," 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials (EXCON2012), Groningen, the Netherlands, July 3, 2012.
- 46 神園建太, 一宮正義, 村田寛幸, 石原一, 芦田昌明, 「CuCl 薄膜における励起子超放射の斜入射効果」, ナノ学会第 10 回大会, 豊中市, 2012 年 6 月 15 日.
- 47 新岡宏彦, 古川太一, 一宮正義, 永田智啓, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「高輝度ナノ蛍光体粒子を用いたカソードルミネッセンス細胞イメージング」, ナノ学会第 10 回大会, 豊中市, 2012 年 6 月 14 日.
- 48 那脇洋平, 板東真一郎, 岡本慎也, 一宮正義, 蓑輪陽介, 芦田昌明, 「超流動ヘリウム中で作製された金属ナノ粒子の光マニピュレーション」, ナノ学会第 10 回大会, 豊中市, 2012 年 6 月 14 日.
- 49 Mitsutake Ando, Shinichi Uozumi, Ikufumi Katayama, Masayoshi Ichimiya, Masaaki Ashida, and Jun Takeda, "Photoluminescence Dynamics in CuCl Thin Films under High-Dense One- and Two-Photon Excitations," 5th International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA 12), Nara, Japan, June 4, 2012.
- 50 新岡宏彦, 古川太一, 一宮正義, 芦田昌明, 荒木勉, 橋本守, 「ナノ蛍光体粒子とカソードルミネッセンス顕微鏡を用いたマルチカラー生体イメージング」, 日本顕微鏡学会第 68 回学術講演会, つくば市, 2012 年 5 月 14 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

一宮 正義 (ICHIMIYA, Masayoshi)

大阪歯科大学・歯学部・講師

研究者番号: 00397621