

自己評価報告書

平成 23 年 5 月 25 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究 (S)

研究期間：2008 ~ 2012

課題番号：20671002

研究課題名 (和文) 低次元金属ナノ材料のアーキテクニクスと赤外プラズモン

研究課題名 (英文) Architectonics of metallic nano-materials and infra red plasmons

研究代表者

長尾 忠昭 (NAGAO TADA AKI)

独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクニクス研究拠点・MANA 独立研究者

研究者番号：40267456

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ機能材料、赤外プラズモン、ナノバイオ

1. 研究計画の概要

電磁波は、電子の疎密波であるプラズモンを利用すると原子レベルの材料にも閉じ込めることができ、ナノ材料の形状、配列構造を工夫することで、性質を柔軟に変化させることができる。本研究はこの原子スケール・ナノスケールの電磁気現況の物理を明らかにし、主に赤外帯域で高い性能を持つセンシング法や、エネルギー・環境材料の可能性を探る。

2. 研究の進捗状況

原子スケールプラズモンの研究はこれまでの電子線による基本プラズモンモードの研究を一層発展させることができ、また、サイズ、次元性、化学組成を変えた様々な材料での振る舞いが系統的に明らかになった。また、光を用いたマクロおよび局所分光法による定在波プラズモンの研究を立ち上げ、電子線研究と併せて他所には無い包括的な研究を進める基盤が整った。原子ワイヤ、ナノディスクのアンテナ共鳴などの発見・解明など、研究は順調に推移している。これらの知見・経験を基盤に赤外センシングのテーマを進め、DNA アプタセンシングによる疾患の原因酵素の高感度検出などに成功し、応用に向けて、この方面も順調に推移している。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

赤外プラズモンの電子線・光を用いた相補的研究のスキームは、設備も充実しほぼ確立している。このアプローチによる成果の認知度も徐々に高まっており、予定したレベル以上を達成している。また、ナノアンテナや赤外センシングのテーマも DNA やたんぱく

質のモノレイヤー、サブモノレイヤー程度のサンプルの高感度測定はルーチン化されており、望んだ研究レベルが達成されている。

4. 今後の研究の推進方策

原子スケールプラズモンの研究は、電子線・光を用いて、今後も一層強化したい。強みである基本現象解明の研究を発展させながら、化学組成、サイズ、次元性を変えた様々な材料での振る舞いを明らかにし、デバイスに供しうる材料の探索を進める。センサー応用は、今後は“感度”よりも、吸着型センサーのキーポイントである“選択性”を高める工夫を推進し、現実の生体や環境からの検体をセンシングできるよう、進めてゆきたい。ほか、今後はエネルギー変換材料、触媒材料の方向にもフォーカスすることで、今後も中-近赤外帯域を中心とする光資源応用をターゲットとした、材料研究を進めてゆきたい。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 2 件)

- (1) G. Han, D. Weber, F. Neubrech, I. Yamada, M. Mitome, Y. Bando, A. Pucci and T. Nagao, “Infrared spectroscopic and electron microscopic characterization of gold nanogap structure fabricated by focused ion beam,” *Nanotechnology*, 5 pages (2011). 査読有、印刷中
- (2) D. Enders, T. Nagao, A. Pucci, T. Nakayama, M. Aono, *Physical Chemistry Chemical Physics* **13**, 4935–4941(2011). 査読有
- (3) T. Nagao, G. Han, C. V. Hoang, J.-S. Wi, A. Pucci, D. Weber, F. Neubrech, V. M. Silkin, D. Enders, O. Saito and M. Rana, “Plasmons in nanoscale and atomic-scale systems,” *Science and Technology of*

Advanced Materials **11**, 054506-1 -12 (2010). 査読有

<http://iopscience.iop.org/1468-6996/11/5/054506>

- (4) T. Nagao, “Low-dimensional plasmons in atom-scale metallic objects,” proceedings of SPIE **7600**, 76001Q 1-8 (2010), (*invited paper*). 査読無
- (5) H. V. Chung, C. J. Kubber, G. Han, S. Rigamonti, D. Sanchez-Portal, D. Enders, A. Pucci, and T. Nagao, “Optical detection of plasmonic and electronic excitations in 1 nm-wide indium atomic wires,” *Applied Physics Letters* **96**, 243101-1 -3 (2010). 査読有
- (6) F. Neubrech, D. Weber, D. Enders, T. Nagao, A. Pucci, “Antenna sensing of surface polaritons,” *J. Physical Chemistry C*, **114** (16), pp7299 – 7301 (2010). 査読有
- (7) Shin Yaginuma and Tadaaki Nagao, “Softening versus hardening transition in surface bilayer bonding of bismuth nanofilm,” *Physical Review B* **82**, 045422 (2010). 査読有
- (8) Chung Vu Hoang, Markus Klevenz, Robert Lovrincic, Frank Neubrech, Olaf Skibbe, Annemarie Pucci, Mieczysław Jałochowski, and T. Nagao, “Studies on gold atom-chains and lead nanowires on Si(557) vicinal surfaces,” *Journal of Physics: Conference Series* **187**, 012025-1 -6(2009). 査読有
- (9) C. Liu, T. Inaoka, S. Yaginuma, T. Nakayama, M. Aono, and T. Nagao, “Excitation of one-dimensional plasmons in Si and Au-Si complex atom wires,” *Nanotechnology* **19**, 355204-1 -5(2008). 査読有
- (10) C. Liu, T. Inaoka, S. Yaginuma, T. Nakayama, M. Aono, and T. Nagao, “Disappearance of the quasi-one-dimensional plasmon at the metal-insulator phase transition of indium atomic wires,” *Physical Review B* **77**, 205415-1 -5(2008). 査読有
- (11) T. Nagao, “Characterization of atomic-level plasmonic structures by low-energy EELS,” *Surface and Interface Analysis* **40**, 1764-1767 (2008). 査読有

[学会発表] (計 4 1 件、内招待 2 1 件)

- (1)T. Nagao, “Plasmon propagation and confinement in atom-scale chains and sheets,” Passion for knowledge (Krusaal Conference Center, Donostia-San Sebastian) September 29, 2010.
- (2)T. Nagao, “Low-dimensional plasmons in metallic atom sheets, atom chains, and nano-sheets,”
The International Conference on Nanophotonics 2010 (Tsukuba International Congress Center, Tsukuba) May 30- June 3 2010.
- (3)T. Nagao, “Low-dimensional plasmons in metallic atom sheets, atom chains, and nano-sheets,” SPIE Photonics West (Moscone Center, San Francisco), January 27, 2010.
- (4)T. Nagao, “Atom-scale and mesoscale infrared plasmonic structures at the metal-Si interfaces,”

12th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-12) (Weimar, Germany) July 05 – 10, 2009.

- (5)T. Nagao, “Atom-scale and mesoscale infrared plasmonic materials,” 36th Conference on the Physics and Chemistry of Semiconductor Interfaces, (Santa Barbara, CA) January 11-15, 2009.
- (6)T. Nagao, “Atom-Scale Plasmonic Wires,” Gordon Research Conferences on Plasmonics (Tilton School, Tilton NH) July 28, 2008.

[図書] (計 4 件)

- (1)T. Nagao, “Chapter III. 1 Propagating and standing-wave plasmonic modes in low-dimensional atomic-scale objects,” in *Nanoantenna*, Edited by. M.Lamy de la Chapelle, and A. Pucci (Pan Stanford Publishing), 19 pages (2011). 査読有、印刷中
- (2)T. Nagao, “Chapter 9: Low-dimensional plasmons in atom sheets and atom chains,” in *Dynamics at Solid State Surfaces and Interfaces, Volume I*, Edited by. U. Bovensiepen, H. Petek, M. Wolf (Wiley VCH), pp189-211(2010). ISBN: 978-3-527-40937-2 査読有
- (3)長尾忠昭, “第 2 章 原子スケール・ナノスケール金属材料のプラズモン,” 金属ナノ・マイクロ粒子の形状・構造制御技術, (CMC 出版), pp10-28(2009).査読無
- (4)長尾忠昭, “中身は半金属, 表面は Rashba スピン分裂したメタル-ビスマス超薄膜のナノ物性.” 固体物理 44 巻, pp97-108 (2009), (表紙写真). 査読有

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

名称: ファイバープローブ及びその製作方法

発明者: 長尾忠昭, D. Enders

権利者: 物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 特願 2010-193012

出願年月日: 2010 年 8 月 31 日

国内外の別: 国内出願

名称: 表面増強赤外吸収センサーとその製造方法

発明者: 長尾忠昭, D. Enders, 中山知信, 青野正和

権利者: 物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: PCT/JP2008/66107

出願年月日: 2008 年 9 月 5 日

国内外の別: 国際出願

[その他]

(1)平成 22 年度「内藤泰春記念賞」

(2)ホームページ

<http://www.nims.go.jp/mana/jp/research/achievement/201101111.html>

<http://www.researchsea.com/html/article.php/aid/5768/cid/1/>