

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686026

研究課題名(和文) 10 nm - node に向けた非接触光リソグラフィー技術の開発

研究課題名(英文) Development of non-contact lithography toward 10 nm-node

研究代表者

上野 貢生 (Ueno, Kosei)

北海道大学・電子科学研究所・准教授

研究者番号：00431346

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,200,000 円、(間接経費) 6,360,000 円

研究成果の概要(和文)：金や銀などの局在表面プラズモン共鳴を示す金属ナノ構造が光をシングルナノメートルの微小な空間に局在化させることが可能な特徴を利用して、ポジ型フォトリソグラフ膜上にナノパターンを高精細に転写露光するナノ光リソグラフィー技術を構築した。その結果、未踏の10 nm-nodeの非接触光リソグラフィー技術の原理検証を達成することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The nano-photolithography technology which carries out transcription exposure of the nanopattern with a nanometric accuracy on a positive photoresist surface was constructed using the feature with possible the metallic nanostructure which shows localized surface plasmon resonance making a nanometer-sized spatial region localize electromagnetic field. As the result, it succeeded in attaining principle verification of the non-contact nano-lithography technology of unexplored 10 nm-node.

研究分野：生産工学・加工学

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、ナノ構造科学

キーワード：10 nm-node ナノギャップ ナノ・マイクロ加工 プラズモニクス 近接場リソグラフィー

### 1. 研究開始当初の背景

近年のコンピューターに代表されるエレクトロニクス分野のめまぐるしい発展は、半導体加工技術の進歩に由来するものである。世界最大の半導体メーカーIntel社の創設者の一人である Gordon Moore 博士によって1965年に経験則(ムーアの法則)として提唱されたように、半導体の集積密度は約2年間で倍増するとまで言われている。半導体加工技術の基礎となる光リソグラフィー技術は、光源を短波長化することにより加工分解能を向上させてきた。半導体加工技術のロードマップでは現在使用されている最先端 ArF 液浸リソグラフィーで 32 nm-node の実用化が近いうちに可能となり、2016年には EUV(極端紫外線)インプリントリソグラフィー、または新しいリソグラフィー技術の開発で 22 nm-node、2019年には 16 nm-node が期待されているが、2013年に市場への投入が期待されている EUV リソグラフィー技術においても加工分解能の限界はすでに到達しており、22 または 16 nm-node 以細を実現するためには新たな光リソグラフィー技術の開発が不可欠となっている。世間一般では、ムーアの法則は破綻し、発熱などの影響から CPU のクロック周波数を維持したまま見かけ上の処理速度を向上させるために CPU をマルチコア化するなどの方向性に進んでいると考えられているが、基礎研究ではすでに示されているようにテラヘルツ周波数のプロセスは、単なる処理速度の高速化だけではなく、高速通信やテラヘルツ波検出など様々な応用性も高いことから、ムーアの法則は決して破綻してはならず、革新的な光リソグラフィー技術の開発が強く求められている。なお、インプリントリソグラフィー(光ナノインプリント)は、10 nm 程度のパターン転写が可能であるが、ウェハに鋳型を圧着することが必須なことから、原理的に欠陥をゼロにすることが難しく、半導体プロセスへの応用に関して慎重な見方も多い。

研究代表者は、従来の技術とは全く異なる原理に基づき、光を数 nm の領域に局在化させ、フォトレジスト膜上に世界最高の加工分解能でナノパターンング(リソグラフィー)を達成する技術を明らかにした。基本となるコア技術は、近赤外波長域にプラズモン共鳴を示す金ナノ構造を配置したフォトマスクであり、2つの金のナノ構造間(ナノギャップ)に増強された近接場光を局在化させ、ギャップの位置に対応させてフォトレジストの2光子反応を誘起しパターンングを行う。実際に、フォトマスク上にネガ型フォトレジストを成膜し、基板にプラズモン共鳴波長である 800 nm の光を照射すると、ギャップの位置にネガレジストの2光子重合反応が空間選択的に進行する(K. Ueno et al. J. Am. Chem. Soc. 2008, J. Phys. Chem. C 2009 など)。また、フォトマスクをポジ型フォトレジスト膜に近接させて、同様に 800 nm の光を照射して

現像を行ったところ、光照射面積全域に 5 nmφ のナノパターンがナノギャップの位置(アレイ状に配列しているためギャップの周期に対応して形成されることを確認)に対応してパターンング可能であることを明らかにした(J. Phys. Chem. Lett. 2010)。

### 2. 研究の目的

本研究では、未踏の 10 nm-node の非接触光リソグラフィー技術の原理検証を達成することを目的とする。研究代表者がこれまで明らかにしてきたプラズモン共鳴を示す金属ナノ構造が光をナノメートルの空間に局在化させることが可能な特徴を利用して、フォトレジスト膜上にナノパターンを高精細に転写露光する技術の確立を行う。平成 24 年度の前半までに 10 nm のラインアンドスペースパターン(長さ 1 μm)をポジ型フォトレジスト膜上に形成可能であることを実証し、平成 25 年度前半までに 10 nm 程度基板とマスクの間の距離を保ちながら非接触で露光を行う技術を確立する。これにより、次世代のリソグラフィー技術を凌駕する全く新しい原理に基づいた光リソグラフィー技術の方法論をデモンストレーションする。

### 3. 研究の方法

(1) 金属ナノ構造を高精細に配置したフォトマスクを構築するために、超高精度電子ビーム露光技術を駆使して、ガラス基板上に焼結するとガラスに変化するネガ型レジストをパターンングし、金を 10 nm スパッタリングにより成膜することでフォトマスクを製作する方法を実行する。FDTD(時間領域差分法)シミュレーションによりフォトマスク上に形成した金のナノパターンの光電場強度分布を検討する。また、可視・赤外波長領域における分光計測システムを構築し、フォトマスクの光学特性を明らかにするとともに、FDTD シミュレーションによるスペクトル解析結果と比較し、原理や光学特性について詳細に検討する。

(2) フォトレジスト基板とフォトマスク間の非接触露光を実現するために、時間領域差分法を用いた電磁場解析を行い、フォトマスクとレジスト基板との中間層の最適な材料(誘電率)を模索する。局在表面プラズモン共鳴を用いた近接場リソグラフィー技術だけではなく、プラズモン共鳴に基づく散乱成分の光を露光用の光源として高分解能に露光する技術においても露光プロファイルを解析する。さらに、原子層堆積装置を用いてフォトマスク表面に誘電体層を任意の厚み成膜し、蛍光分子を配置して、蛍光強度でフォトマスクとレジスト基板の間に誘電体層が存在するときの光電場増強効果の変化を実験的に検討する。

(3) 局在表面プラズモン共鳴を用いた近接

場リソグラフィ技術だけではなく、プラズモン共鳴に基づく散乱成分の光を露光用の光源として高分解能に露光する技術を確立する。また、2)の電磁場解析シミュレーションによって明らかになったフォトレジストと同じ誘電率を持つ材料をフォトマスクとフォトレジスト基板の間に導入し、波長 800 nm のフェムト秒レーザービームを任意の強度で照射して非接触露光のデモンストレーションを行う。露光・現像後に形成されたナノパターンを走査型電子顕微鏡で観察し、評価を行う。電磁場解析シミュレーション結果と実験結果を比較するとともに、実験結果をフィードバックして露光条件を最適化する。

#### 4. 研究成果

(1) 10 nm のラインアンドスペースパターン(長さ 1  $\mu\text{m}$ )をポジ型フォトレジスト膜上に形成可能であることを明らかにした。始めに、ナノギャップを有する金属ナノ構造を配置したフォトマスクを高精密に作製する方法論を明らかにした。ガラス基板上に焼結後ガラスに変化するネガ型電子ビームレジストの XR-1541(Dow Corning Co.)をコートして、電子ビーム露光/現像(TMAH)によりパターンニングを行い(ライン幅 32 nm、スペース幅 8 nm、長さ 1  $\mu\text{m}$ の金のラインアンドスペースパターン)、パターンニングした基板に金を 10 nm スパッタリングにより成膜することによりフォトマスクの作製を行った。フォトマスクの設計は、トランジスタのゲート電極に対応しており、ゲート長 10 nm 以下の電極を高密度に基板に配置することが可能になる。あらかじめフォトレジストをコートした基板とフォトマスクを重ねあわせて減圧状態にすることにより基板同士を完全に密着させ、近赤外光を光源とした露光システムにより密着露光を行った。フォトレジスト基板を現像後、基板の電子顕微鏡観察を行ったところ、幅 5 nm 長さ 1  $\mu\text{m}$  ピッチ 40 nm のラインアンドスペースパターンが高精度に形成されていることを確認した。また、フォトマスク上に形成した金のナノパターンの光電場強度分布についても FDTD (時間領域差分法)シミュレーションにより詳細に検討した。さらに、可視・赤外波長領域における分光計測システムを構築し、分光測定を行うとともに、FDTD シミュレーションによるスペクトル解析の結果と比較した。その結果、フォトマスクのナノギャップ領域において増強された近接場光がフォトレジストの 2 光子吸収を誘起して、高い分解能でリソグラフィが実現されていることを明らかにすることに成功した。

(2) フォトレジスト基板と金属ナノ構造を有するフォトマスク基板間の非接触露光を実現するために、時間領域差分法を用いた電磁場解析を行い、基板間の中間層について最適な屈折率を有する材料を検討した。種々の

屈折率の材料を用いて電磁場解析を行った結果、金属ナノ構造からの散乱光を利用した伝搬光による露光の場合はレジストとの屈折率のマッチングが重要だが、近接場露光技術においてはフォトマスクとレジスト基板間の距離が重要なパラメータであることが明らかになった。つまり、近接場露光技術では、限りなくフォトマスク基板とレジスト基板間の距離は小さくしなければならず、10 nm 程度が限界の距離であることが明らかになった。さらに、原子層堆積装置を用いて金ナノ構造基板上に厚さ 1 nm の酸化アルミナ膜を形成する技術を確立した。系統的に酸化アルミナの厚みを変化させて分光特性や光電場増強効果を蛍光・蛍光寿命測定などにより検討したところ、理論通り蛍光分子と金ナノ構造間に 1 nm の間隙があることを確認した。また、誘電体層の厚みを変化させた場合、指数関数的に蛍光強度が変化し、誘電体層の厚みは 1 nm が最適であることが示された。したがって、本技術が非接触近接場露光技術をデモンストレーションするために有用であることが明らかになった。

(3) 局在表面プラズモン共鳴を用いた近接場リソグラフィ技術だけではなく、プラズモン共鳴に基づく伝搬光により高分解能に露光する技術を確立した。フォトマスクは、1)と同様にネガ型電子ビーム露光用レジストである XR-1541(Dow Corning Co.)を用いてガラス基板上にナノ構造をパターンニングし、構造基板上に金を 10 nm スパッタリングにより成膜することにより作製した。作製したフォトマスク基板の分光特性を検討した結果、時間領域差分法によるシミュレーションの解析結果とよい一致を示した。また、ラインアンド、スペースパターンだけではなく、さまざまな形状のパターンを作製可能であることを明らかにした。

一方、作製した金ナノ構造体基板上に、原子層堆積装置を用いて厚さ 1 nm の酸化アルミナ膜を成膜した。作製したフォトマスク基板とフォトレジスト基板を用いて電磁場解析を行い、近接場の光電場強度分布を確認したところ、フォトマスク基板とレジスト基板の間に 1 nm の誘電体層が存在しても、フォトレジスト膜中の近接場分布に大きな影響がない(ほとんど変化がない)ことを明らかにした。そこで、作製したフォトマスク基板とレジスト基板を用いて、中心波長 800 nm のフェムト秒レーザー ( $f: 80 \text{ MHz}$ ,  $\tau: 100 \text{ fs}$ ,  $50 \text{ W/cm}^2$ ) を 1 秒間照射し、現像を行ったところ、幅 5 nm 長さ 1  $\mu\text{m}$  ピッチ 20 nm のラインアンドスペースパターンがフォトレジスト基板上に形成可能であることを走査型電子顕微鏡観察により明らかにすることに成功した。これらの結果から、まだプリミティブで基礎的な研究の段階であるが 10 nm-node に向けた非接触リソグラフィ技術をデモンストレーションすることに成功した。

## 5. 主な発表論文等

(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39件)

1. A. Watanabe, Y. Kotake, Y. Kamata, A. Chikamatsu, K. Ueno, H. Misawa, T. Hasegawa, Photoelectrochemical Behavior of Self-assembled Ag/Co Plasmonic Nanostructures capped with TiO<sub>2</sub>, *J. Phys. Chem. Lett.*, **5**, 25-29 (2014). (査読有)
2. X. Shi, K. Ueno, T. Oshikiri, H. Misawa, Improvement of plasmon-enhanced photocurrent generation by interference of TiO<sub>2</sub> thin-film, *J. Phys. Chem. C*, **117**, 24733-24739 (2013). (査読有)
3. Q. Sun, K. Ueno, H. Yu, A. Kubo, Y. Matsuo, H. Misawa, Direct imaging of the near field and dynamics of surface plasmon resonance on gold nanostructures using photoemission electron microscopy, *Light: Science & Applications*, **2**, e118 (2013). (査読有)
4. K. Ueno, H. Misawa, Plasmon-enhanced photocurrent generation and water oxidation from visible to near-infrared wavelengths, *NPG Asia Mater.*, **5**, e61 (2013). (査読有)
5. G. Bi, L. Wang, L. Ling, Y. Yokota, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, J.-R. Qiu, Optical properties of gold nano-bowtie structures, *Opt. Commun.*, **294**, 213-217 (2013). (査読有)
6. K. Ueno, H. Misawa, Surface plasmon-enhanced photochemical reactions, *J. Photochem. Photobiol. C*, **15**, 31-52 (2013). (査読有)
7. 上野 貢生, 三澤 弘明, 可視光局在プラズモンの人工光合成への展開, *化学工業*, **65**, 21-25 (2014). (査読無)
8. K. Ueno, H. Misawa, Spectral Properties and Electromagnetic Field Enhancement Effects on Nano-Engineered Metallic Nanoparticles, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **15**, 4093-4099 (2013). (査読有)
9. K. Imura, K. Ueno, H. Misawa, H. Okamoto, Optical Field Imaging of Elongated Rectangular Nanovoids in Gold Thin Film, *J. Phys. Chem. C*, **117**, 2449-2454 (2013). (査読有)
10. X. Shi, K. Ueno, N. Takabayashi, H. Misawa, Plasmon-enhanced photocurrent generation and water oxidation with a gold nanoisland loaded titanium dioxide photoelectrode, *J. Phys. Chem. C*, **117**, 2494-2499 (2013). (査読有)
11. Y. Teng, K. Ueno, X. Shi, D. Aoyo, J.-R. Qiu, H. Misawa, Surface plasmon-enhanced molecular fluorescence induced by gold nanostructures, *Ann. der Physik*, **524**, 733-740 (2012). (査読有)
12. K.-L. Lee, M.-J. Chih, X. Shi, K. Ueno, H. Misawa, P.-K. Wei, Improving surface plasmon detection in gold nanostructures using a multi-polarization spectral integration method, *Adv. Mater.*, **24**, 253-259 (2012). (査読有)
13. G. Bi, L. Wang, W. Xiong, K. Ueno, H. Misawa, J.-R. Qiu, Photoluminescence enhancement induced from silver nanoparticles in Tb<sup>3+</sup>-doped glass ceramics, *Chin. Opt. Lett.*, **10**, 092401 (2012). (査読有)
14. K. Ueno, H. Misawa, Fabrication of nano-engineered metallic structures and their application to non-linear photochemical reactions, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **85**, 843-853 (2012). (査読有)
15. B. Wu, K. Ueno, Y. Yokota, K. Sun, H. Zeng, H. Misawa, Enhancement of a two-photon-induced reaction in solution using light-harvesting gold nanodimer structures, *J. Phys. Chem. Lett.*, **3**, 1443-1447 (2012). (査読有)
16. Y. Nishijima, K. Ueno, Y. Kotake, K. Murakoshi, H. Inoue, H. Misawa, Near-infrared plasmon-assisted water oxidation, *J. Phys. Chem. Lett.*, **3**, 1248-1252 (2012). (査読有)
17. K. Ueno, H. Misawa, Precisely controlled plasmonic nanostructures and its application to nanolithography, *Proc. SPIE*, **8613**, 861302-1-7 (2013).
18. T. Geldhauser, A. Kolloch, N. Murazawa, K. Ueno, J. Boneberg, P. Leiderer, E. Scheer, H. Misawa, Quantitative Measurement of the Near-Field Enhancement of Nanostructures by Two-Photon Polymerization, *Langmuir*, **28**, 9041-9046 (2012). (査読有)
19. J. Sakai, D. Roldan, K. Ueno, H. Misawa, Y. Hosokawa, T. Iino, S. Wakitani, M. Takagi, Effect of the distance between adherent mesenchymal stem cell and the focus of irradiation of femtosecond laser on cell replication capacity, *Cytotechnology*, **64**, 323-329 (2012). (査読有)
20. G. Bi, W. Xiong, L. Wang, K. Ueno, H. Misawa, J.-R. Qiu, Fabrication of periodical structure and shape-induced modulating spectroscopy of Au nanoparticles, *Opt. Commun.*, **285**, 2472-2477 (2012). (査読有)
21. Q. Sun, K. Ueno, H. Misawa, In situ investigation of the shrinkage of photopolymerized micro/nanostructures: The effect of the drying process, *Opt. Lett.*, **37**, 710-712 (2012). (査読有)
22. Y. Harada, K. Imura, H. Okamoto, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, Plasmon-induced local photocurrent changes in GaAs photovoltaic cells modified with gold nanospheres: A near-field imaging study,

- J. Appl. Phys.*, **110**, 104306-1-7 (2011). (査読有)
23. Z. Li, K. Sun, M. Sunayama, R. Araki, K. Ueno, M. Abe, H. Misawa, Nanogap-assisted surface plasmon nanolithography, *Electrophoresis*, **32**, 3392-3398 (2011). (査読有)
  24. S. Danworaphong, T. A. Kelf, O. Matsuda, M. Tomoda, Y. Tanaka, N. Nishiguchi, O. B. Wright, Y. Nishijima, K. Ueno, S. Juodkazis, H. Misawa, Real-time imaging of acoustic rectification, *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 201910-1-3 (2011). (査読有)
  25. Y. Yoshida, S. Watanabe, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, T. Kato, Fabrication of Au/Si nanocomposite surface structure using nanosecond pulsed laser irradiation, *Nanotechnology*, **22**, 375607-1-7 (2011). (査読有)
  26. L. Wang, W. Xiong, Y. Nishijima, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, J. R. Qiu, G. Bi, Spectral properties of nanoengineered Ag/Au bilayer rods fabricated by electron beam lithography, *Appl. Opt.*, **50**, 5600-5605 (2011). (査読有)
  27. L. Wang, W. Xiong, Y. Nishijima, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, G. Bi, J. Qiu, Modifying Plasmonic Spectral Properties of Engineered Silver Nanoblocks by Using Titanium Coating, *IEEE Photonic. Tech. L.*, **23**, 1216-1218 (2011). (査読有)
  28. S. Haruta, H. Misawa, K. Ueno, Y. Yokota, H. Uehara, H. Hiratsuka, H. Horiuchi, T. Okutsu, Protein Crystallization Induced by Strong Photons-molecules Coupling Fields Photochemical Reaction, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **221**, 268-272 (2011). (査読有)
  29. L. Wang, Y. Nishijima, K. Ueno, H. Misawa, N. Tamai, Plasmon coupling and coherent acoustic phonon dynamics of periodic gold pair nanocuboids by near-IR transient absorption spectroscopy, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **221**, 164-168 (2011). (査読有)
  30. Y.-W. Hao, H.-Y. Wang, Y. Jiang, Q.-D. Chen, K. Ueno, W.-Q. Wang, H. Misawa, H.-B. Sun, Hybrid states dynamics of gold nanorods/dye J-aggregate under strong coupling, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **50**, 1-6 (2011). (査読有)
  31. K. Ueno, S. Takabatake, K. Onishi, H. Itoh, Y. Nishijima, H. Misawa, Homogeneous nano-patterning using plasmon assisted photolithography, *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 011107-1-3 (2011). (査読有)
  32. E. Wu, Y. Chi, B. Wu, K. Xia, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, H. Zeng, Spatial polarization sensitivity of single Au bowtie nanostructures, *J. Lumin.*, **131**, 1971-1974 (2011). (査読有)
  33. L. Wang, W. Xiong, Y. Nishijima, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, G. Bi, J.-R. Qiu, Spectral properties and mechanism of instability of nanoengineered silver blocks, *Opt. Express*, **19**, 10640-10646 (2011). (査読有)
  34. Y. Tanaka, H. Ishiguro, H. Fujiwara, Y. Yokota, K. Ueno, H. Misawa, K. Sasaki, Direct imaging of nanogap-mode plasmon-resonant fields, *Opt. Express*, **19**, 7726-7733 (2011). (査読有)
  35. A. Kolloch, T. Geldhauser, K. Ueno, H. Misawa, J. Boneberg, A. Plech, P. Leiderer, Femtosecond and picosecond near-field ablation of gold nanotriangles: Nanostructuring and Nanomelting, *Appl. Phys. A*, **104**, 793-799 (2011). (査読有)
  36. K. Ueno, H. Misawa, Surface plasmon-assisted nanolithography with nanometric accuracy, *Proc. SPIE*, **8243**, 82430F-1-8 (2011). (査読無)
  37. K. Ueno, H. Misawa, Achieving single-nanometer-size dots with photolithography, *SPIE News Room*, doi:10.1117/2.1201109.003842 (2011). (査読無)
  38. K. Ueno, H. Misawa, Photochemical reaction fields with Strong coupling between a photon and a molecule, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **221**, 130-137 (2011). (査読有)
  39. 上野 貢生, 三澤 弘明, プラズモニクスと光化学反応, *応用物理*, **80**, 766-771 (2011). (査読無)
- 〔学会発表〕(計45件)
1. K. Ueno, Plasmonic chemistry and its application to nanolithography and infrared sensor, Symposium on Plasmon-based Chemistry and Physics (ICP2013 preconference), KU Leuven, Belgium, 2013年7月20日(招待講演)
  2. 上野 貢生, プラズモニク構造を利用した光化学反応制御, 日本物理学会 2013年秋季年会, 徳島大学, 2013年9月27日(招待講演)
  3. 上野 貢生, プラズモン増強を用いた表面光化学反応, 第78回表面科学研究会 ナノスケールの振動分光の最前線, 東京工業大学, 2013年10月18日(招待講演)
  4. K. Ueno, Fabrication and characterization of metallic nanostructures with single nanometer-sized gap, 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2013), Royton Sapporo, 2013年11月8日(招待講演)
  5. 上野 貢生, プラズモン放射圧を利用した遠赤外分光イメージング技術, 2013年度日本分光学会北海道支部シンポジウム,

- 北海道大学, 2014年1月24日(招待講演)
6. 上野 貢生, プラズモン増強場を用いた表面化学反応, 平成25年度日本表面科学会東北・北海道支部学術講演会, 東北大学, 2014年3月10日(招待講演)
  7. K. Ueno, Plasmonic nanostructures for chemical applications, Japan-India Bilateral Seminar on Supramolecular Nanomaterials for Energy Innovation, Alpha Anabuki Hall Takamatsu, 2012年10月16日(招待講演)
  8. K. Ueno, Plasmon-Enhanced Photochemical Reactions on Nano-Engineered Gold Particles, 25th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2012), Kobe Meriken Park Oriental Hotel, 2012年11月1日(招待講演)
  9. K. Ueno, Plasmon-assisted nanolithography exposed by femtosecond laser beam through gold nanostructured photomasks, 31th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO2012), Anaheim Marriot Hotel, USA, 2012年9月26日(招待講演)
  10. K. Ueno, Precisely controlled plasmonic nanostructures and its application to nanolithography, SPIE Photonic West 2013, The Moscone Center San Francisco, USA, 2013年2月5日(招待講演)
  11. 上野 貢生, 制御された金属ナノ構造による光増強場の創製と化学反応への応用, 日本化学会第92春季年会, 慶應義塾大学, 2012年3月27日.(招待講演)
  12. 上野貢生, 三澤弘明, プラズモンナノ光リソグラフィによる高分解能フォトレジストパターンの形成, 第123回微小光学研究会「超精密微小光学」, 東海大学, 2012年3月1日.(招待講演)
  13. K. Ueno, Localized Surface Plasmons for Nano-Fabrication, 2nd Japan-France Frontiers of Engineering (JFFoE), Nanoscience, Kyoto International Conference Center, 2012年2月27日(招待講演)
  14. K. Ueno, Surface plasmon-assisted nanolithography with nanometric accuracy, SPIE Photonic West 2012, The Moscone Center, USA, 2012年2月15日(招待講演)
  15. K. Ueno, Plasmon-Enhanced Photocurrent Generation and Its Application to Artificial Photosynthesis system, 12th RIES-Hokudai International Symposium "観", Chateraise Gateaux Kingdom Sapporo, 2011年11月21日(招待講演)
  16. K. Ueno, Chemical applications of metallic nanostructures showing localized surface plasmon resonance, Extreme Photonics Seminar, 理化学研究所, 2011年10月28日(招待講演)
  17. K. Ueno, Surface Plasmon-Assisted Nanolithography, BIT's 1st Annual World

Congress of Nano-S&T, Dalian World EXPO Center, China, 2011年10月23日(招待講演)

18. 上野 貢生, プラズモン増強場の創成と化学的応用, 2011年度日本分光学会北海道支部シンポジウム, 北海道大学, 2011年10月6日(招待講演)
19. 上野 貢生, プラズモン増強場を用いた光ナノ加工技術, 第75回レーザ加工学会講演会, 関西大学, 2011年5月12日(招待講演)

〔図書〕(計6件)

1. 上野 貢生, 三澤 弘明(分担執筆), プラズモニック化学, 金属および半導体ナノ粒子の科学, 化学同人, 81-87 (2012).
2. 上野 貢生, 三澤 弘明(分担執筆), 2. 電子ビームリソグラフィ, プラズモンナノ材料開発の最前線と応用, シーエムシー出版, 87-93 (2013).
3. K. Ueno, H. Misawa, Strong photon-molecule coupling fields for chemical reactions, *Photochemistry*, **39**, 228-255 (2011).
4. 上野 貢生, 三澤 弘明(分担執筆), 14. プラズモニクスの光化学的アプローチ, プラズモニクス-光・電子デバイス開発最前線, エヌ・ティー・エス, 3-12 (2011).

〔産業財産権〕

出願状況(計4件)

名称: 光電変換装置及び光電変換装置の製造方法

発明者: 三澤 弘明, 上野 貢生, 小竹 勇己

権利者: 北海道大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-042858

出願年月日: 2013年3月5日

国内外の別: 国内

取得状況(計5件)

名称: 金属構造体

発明者: 上野 貢生, 三澤 弘明, 坪井 泰之,

サウリウス ヨードカジス, ビガンタス ミ

ゼイクス, 笹木 敬司

権利者: ローム株式会社

種類: 特許

番号: 特許 5137344

取得年月日: 2012年11月22日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kueno.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

上野 貢生 (UENO KOSEI)

北海道大学・電子科学研究所・准教授

研究者番号: 00431346