

平成 21 年 4 月 10 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2009

課題番号：18063015

研究課題名（和文） 自己組織化ナノ構造形成プロセス

研究課題名（英文） Fabrication Process for Self Assembled Nano Structure

研究代表者

浦岡 行治 (URAOKA YUKIHARU)

奈良先端科学技術大学院大学・物質創成科学研究科・教授

研究者番号：20314536

研究分野：半導体デバイス・プロセス

科研費の分科・細目：電気電子工学 電子・電気材料工学

キーワード：半導体、微細加工、生体超分子、自己組織化、ボトムアップ

## 1. 研究計画の概要

生体超分子や有機分子など、自己組織化能力をもつ新しい材料を導入し、新しい半導体デバイスプロセスを提案する。従来の無機材料では得られないナノメートルスケールでの均一性、位置制御性を有効に活用した、新機能デバイスプロセスを検討する。

## 2. 研究の進捗状況

フェリチン超分子をナノ粒子配置のための輸送手段として利用し、基板-タンパク質間に働く静電相互作用を精緻に制御することで、高密度単層ナノドット配置からナノドット1個ずつの位置制御まで、各種のナノドット配置が実現できることを示した。吸着過程の相互作用場を解析することにより用途に応じた吸着系を設計でき、また、必要に応じて適切なタンパク質遺伝子改変を行うための指針を得ることができた。静電相互作用と籠状タンパク質を用いたナノ粒子配置技術は、シリコン系プロセス技術との親和性も高く、各種ナノ機能デバイスを実現するための基盤技術として期待できる。

籠状タンパク質であるフェリチン(コア直径7nm)とそれよりひとまわり小さいリステリアフェリチン(コア直径4.5nm)を用いて均一なナノ粒子を合成し、Si基板上に形成するナノドット二次元配列のドット密度とサイズを制御した。ナノドット単層配列をSiO<sub>2</sub>膜で埋め込んだMOSキャパシタ作製プロセスの確立を行った。作製したMOSキャパシタの電気特性(C-V)測定により、ナノドット二次元配列への電荷注入挙動に与えるドット密度とサ

イズの影響について明らかにした。

タンパクが持つ特定材料に対する親和性を利用して単電子トランジスタを作製した。ある種のフェリチンタンパクには、チタン表面に対して強い親和性を示す。シリコン酸化膜上にチタン(吸着材料)と金(非吸着材料)で積層したナノギャップ電極構造を作製した。タンパクはチタン表面に横方向から自己集合的に吸着される。特に、ナノギャップには、二つの電極に吸着されるために優先的に配置される。球殻タンパクがあるために、内部のナノ粒子は電極と直接コンタクトせず、トンネルギャップが保持される。タンパクを除去し、クーロン島(ナノ粒子)を二つのトンネルギャップではさむ単電子構造を実現し、低温(4.2K)でクーロンブロッケード現象を確認した。

## 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

当初に適切な目標と計画を立案したため、予定通りである。それに加えて、チーム内の有機的な強い連携により、概ね順調に推移しているものと思われる。積極的な論文、学会発表を実施することにより、学術的な成果も堅調である。ただ、知財の取得に関しては、反省が残る。

## 4. 今後の研究の推進方策

タンパクが持つ特定材料に対する親和性を利用して単電子トランジスタを作製した。ある種のフェリチンタンパクには、チタン表

面に対して強い親和性を示す。シリコン酸化膜上にチタン(吸着材料)と金(非吸着材料)で積層したナノギャップ電極構造を作製した。タンパクはチタン表面に横方向から自己集合的に吸着される。特に、ナノギャップには、二つの電極に吸着されるために優先的に配置される。球殻タンパクがあるために、内部のナノ粒子は電極と直接コンタクトせず、トンネルギャップが保持される。タンパクを除去し、クーロン島(ナノ粒子)を二つのトンネルギャップではさむ単電子構造を実現し、低温(4.2K)でクーロンブロック現象を確認した。

#### 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 14 件)

- [1] K. Ichikawa, Y. Uraoka, (他 5 名、2 番目), “Low-temperature poly-Si TFT flash memory with ferritin”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.46, No.34 pp.L804 - L806, 2007, 査読有.
- [2] A.Miura, Y.Uraoka, (他 5 名、2 番目) “bionanodot monolayer array fabrication for nonvolatile memory application”, Surface Science Letters, 601, L.81-L85, 2007, 査読有.
- [3] K.Yamada, S.Yoshii, S.Kumagai, A. Miura, Y.Uraoka, (他 2 名、4 番目) “Effects of Dot Density and Dot Size on Charge Injection Characteristics in Nanodot Array Produced by Protein Supramolecules”, Jpn J. Appl. Phys, Vol. 46, No. 11, pp.7549-7553, 2007, 査読有.
- [4] A. Miura, R.Tsukamoto, S.Yoshii, I. Ymashita, Y.Uraoka, (他 1 名、5 番目), “Non-volatile flash memory with discrete bionanodot floating gate assembled by protein template, Nanotechnology 19, 255201, 2008-1~5、査読有.
- [5] A.Miura, Y.Uraoka, (他 5 名、2 番目) “Floating nanodot gate memory fabrication with biomaterialized nanodot as charge storage node”. Journal of Applied Physics, Vol.103, No.7, 074503-1~10, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 22 件)

- [1] R.Tanaka, A.Miura, Y.Uraoka, (他 2 名、3 番目) “Characterization of electronic properties of single bionanodot”, The proceeding of the 3rd International TFT Conference, p.308, 2007, 査読有.
- [2] K.Ichikawa, H.Yano, T.Hatayama,

Y.Uraoka, (他 1 名、4 番目), “Low Temperature poly-Si TFT Flash memory with Si nano crystal dot”, The proceeding of the 3rd International TFT Conference, p.340, 2007, 査読有.

- [3] Y.Nanjo, Y.Uraoka, (他 3 名、2 番目) “Enlargement of Grain size poly-Si using Ferritin Protein with Ni Nano particles”, The proceeding of the 3rd International TFT Conference, p.90, 2007, 査読有.
- [4] M.Ochi, Y.Nanjo, Y.Sugawara, Y.Uraoka, (他 3 名、3 番目), “Enhancement of crystal growth rate of Bio-Nano Crystallization by Pulsed Rapid Thermal Annealing”, SSDM, Tsukuba, p.784, 2007, 査読有.
- [5] T. Matsumura, A. Miura, Y.Uraoka, (他 3 名、3 番目), “Reduction of a Ferritin Core Embedded in Silicon Oxide Film for An Application to Floating Gate Memory”, SSDM, Tsukuba, p.1110, 2007, 査読有.

[図書] (計 1 件)

- ・「システムオンパネルを目指した薄膜トランジスタ」、浦岡行治監修、CMC 出版

[その他]

- ・市川和典(学生)、「AMFPD'07 国際会議」最優秀論文賞受賞
- ・越知誠弘(学生)、「ITC'08 国際会議」最優秀ポスター賞受賞
- ・菅原祐太(学生)、「IDW '09 国際会議」最優秀ポスター賞受賞
- ・藤井茉美(学生)、「AMFPD'08 国際会議」最優秀論文賞受賞