

平成 22 年 4 月 28 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19051017

研究課題名（和文）配列ナノ空間物質を利用した次世代半導体デバイス

研究課題名（英文）New semiconductor devices using regulated nano materials

研究代表者

金山 敏彦（TOSHIHIKO KANAYAMA）

（独）産業技術総合研究所・ナノ電子デバイス研究センター・研究センター長

研究者番号：70356799

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：原子分子処理、ナノ材料、超薄膜

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、同種元素の組み合わせで金属・半導体・絶縁体が合成できる配列ナノ空間物質の利点を最大限に活用し、ナノスケールの電界効果トランジスタを、シリコン系材料で、異種物質界面の不整合や材料構造のランダムネスを伴わずに作製するための物質構成原理を構築することである。特に、シリコンの配列ナノ空間の内部に遷移金属原子を配置することにより、半導体物質を形成効果トランジスタ動作、即ち、外部電界による伝導度変調が行えることを実証する。さらに、遷移金属内包シリコンクラスターの構造および電子状態が、荷電状態によって変化することを利用し、電界効果の物理的限界を超えうる、半導体デバイスの新動作原理を探索する。

2. 研究の進捗状況

これまでの研究では、まず、シラン(SiH₄)ガス中で遷移金属をレーザアブレーションする方法で遷移金属内包シリコンクラスター(M@Sin: n=8-16, M=Mo, W, Nb, Zr等)を合成し、それを基板上に堆積することで、M@Sinを単位構造とした薄膜を作製する技術を確認した。M@Sin膜は、Si組成の増加に伴い半導体になり、n=10に到達すると、多少の例外はあるが、抵抗率1M以上、光学ギャップ1.0-1.8 eVを持つ。また、M@Sin膜は非晶質Siと同様なSiネットワークを持ちながらも、局所構造がM@Sinで形成されていることで電子状態の揺らぎが抑えられ、キャリア移動度が非晶質Siの最大300倍程度高くなる。さらに、M@Sin膜をチャンネルに用いた薄膜トランジスタを試作し、M@Sin膜において電界効果による伝導度変調が可能であることを明

らかにした。

3. 現在までの達成度

当初の計画通りに進展している。

(理由)

これまでの研究で、M@Sinを単位構造とした新規Si系半導体材料の形成、M@Sin薄膜を用いた薄膜トランジスタの形成と電界効果実証に成功しており、当初の目標をクリアしている。

4. 今後の研究の推進方策

今後は、トランジスタの高性能化、M@Sinの特長を活かした物性の探索とそれを利用した新動作原理デバイスの開発を行う。薄膜トランジスタの試作においては、ギャップ内欠陥準位の少ない高品質な膜の形成方法の確立を目指す。一方で、リソグラフィー技術を用い、完成度の高い素子形成を行うことにより、高性能なトランジスタの開発を目指す。

材料物性の解明と特性向上のために、光吸収スペクトル、X線光電子分光、ラマン散乱分光、赤外吸収分光、光伝導特性の評価や、電気伝導型の異なる薄膜の積層構造の作製とその電氣的接合特性の評価など、多角的な検討を行う。M@Sin膜の基本的な物性解析を行うことで、M@Sin膜の高品質化にフィードバックをかける。さらに、これらの物性の理解を深めるために、第一原理計算による当該物質の構造・物性の解析を系統的に行い、M@Sin材料に特長的で新規な物性を抽出する。この計算シミュレーション結果を基に、半導体新動作原理デバイスの設計・実証を行う。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文](計 5件)

Takehide Miyazaki and Toshihiko Kanayama, First-principles theory for Si-based, atomically thin layered semiconductor crystal, Applied Physics Letters, 91, 082107-1-3, 2007. 査読有

Noriyuki Uchida, Hiroshi. Yahata, To shihiko Kanayama, and Leonid Bolotov, Local modification of electronic structure of Si (111)-7x7 surfaces by forming molybdenum-encapsulating Si clusters, Applied Physics Letters, 91, 063109-1-3, 2007. 査読有

Noriyuki Uchida, Hiroshi Kintou, Yusuke Matsushita, Tetsuya Tada and Toshihiko Kanayama, Synthesis of New Amorphous Semiconductors Assembled from Transition-Metal-Encapsulating Si Clusters, Applied Physics Express (APEX), 1, 121502-1-3, 2008. 査読有
Zhihu Sun, Hiroyuki Oyanagi, Noriyuki Uchida, Takehide Miyazaki, and Toshihiko Kanayama, Structure determination of W-capsulated Si cage clusters by x-ray absorption fine structure spectra, J. Phys D: Appl. Phys., 42, 015421-1-6, 2009. 査読有
Takehide Miyazaki, Noriyuki Uchida, and Toshihiko Kanayama, First principles structure modeling for amorphous Si-rich transition metal silicides, Phys. Status Solidi (c), 7, 636-639, 2010. 査読有

[学会発表](計 15件)

Noriyuki Uchida, Yusuke Matsushita, Takehide Miyazaki, Hidefumi Hiura and Toshihiko Kanayama, Formation of Si₆ ring clusters stabilized by a transition metal atom, 14th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters, Sep. 15-19, 2008, Valladolid, Spain.

Noriyuki Uchida, Hiroshi Kintou, Yusuke Matsushita, Tetsuya Tada, Kazuhiro Kirihara, Hiroyuki Oyanagi and Toshihiko Kanayama, Synthesis and Characterization of Clusters Assembled Films Composed of Transition-Metal Encapsulating Si Clusters", 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2008), Sep. 23-26, Tsukuba, Ibaraki, Japan
Noriyuki Uchida, Yusuke Matsushita, Hiroshi Kintou, Tetsuya Tada, and

Toshihiko Kanayama, Synthesis of Amorphous Semiconductors Assembled from Transition-Metal-Encapsulating Si Clusters, International Conference on Nanoscience and Quantum Physics (nanoPHYS 09), Feb. 23-25, 2009, Minato-ku, Tokyo, Japan

Takehide Miyazaki, Noriyuki Uchida, and Toshihiko Kanayama, First principles structure modeling for amorphous Si-rich transition metal silicides, The 23rd International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, August 23-28, 2009, Utrecht, The Netherlands

Noriyuki Uchida, Takehide Miyazaki, and Toshihiko Kanayama, Amorphous Si-Rich Silicide Semiconductors Assembled from Transition-Metal-Encapsulating Si Clusters, The 23rd International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, August 23-28, 2009, Utrecht, The Netherlands.

[産業財産権]

出願状況(計 3件) 取得状況(0件)

名称: 金属珪素化合物薄膜及びその製造方法

発明者: 金山 敏彦, 内田 紀行

権利者: (独) 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2008-048520, 国内優先出願:

特願 2008-230650, 特願 2009-037261

出願年月日: 2008年2月28日

国内外の別: 国内

名称: 金属珪素化合物薄膜及びその製造方法

発明者: 金山 敏彦, 内田 紀行

権利者: (独) 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: PCT/JP2009/053422

出願年月日: 2009年2月25日

国内外の別: 外国

名称: 薄膜トランジスタ

発明者: 内田 紀行, 金山 敏彦

権利者: (独) 産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2009-191603

出願年月日: 2009年8月21日

国内外の別: 国内

[その他]

Phys. Status Solidi (c), 7, 3-4 の表紙を
遷移金属内包シリコンクラスター物質の第
一原理計算に基づく構造図が飾った。