

平成 22 年 5 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19206003
 研究課題名（和文） シリコン結晶中への多元素重畳 δ ドーピング層の実現と量子情報処理への応用
 研究課題名（英文） Novel delta doping technology with two or more dopants in silicon towards quantum information processing platform
 研究代表者
 三木 一司 (MIKI KAZUSHI)
 独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ有機センター・グループリーダー
 研究者番号：30354335

研究代表者の専門分野：結晶成長

科研費の分科・細目：結晶工学

キーワード：結晶工学、結晶成長、半導体物性、量子コンピュータ、MBE・エピタキシャル

1. 研究計画の概要

今日の社会では情報通信の革新のために、交通制御などを扱うような複雑な問題を処理する情報技術や、個人情報完全に保護する通信技術が必要とされており、このような情報処理通信技術の実現には量子情報科学の活用が不可欠である。量子情報技術では量子ビットと呼ばれる情報の担い手になる物理系が必要となる。本研究は、この物理系として異種原子を 5-10nm の間隔で隣接配置した構造をエピタキシャル成長技術で実現するものである。

2. 研究の進捗状況

本研究では、多元素を重畳 δ ドーピングする技術を研究し、 δ ドーピング層中の (1) 全ての異種元素を光学的・電氣的に活性化する技術、(2) 元素比率を制御する技術、(3) 元素間距離を評価・制御する技術、(4) 元素間の相互作用を確認するために、電氣的輸送特性の評価の実施を課題項目としている。

(1) ドーパントの活性化研究では、レーザーアニールに加えて低温アニール処理を合わせたハイブリッド手法が適切な事を見出した。レーザーアニールは YVO₄ 固体レーザー (532nm、18W) を用いて、100m/min の線速度で回転するターンテーブル上に基板を載せ、窒素雰囲気中で集光面積 10 μm^2 に照射して行い、照射レーザー出力は 5～9W の範囲で可変した。このレーザーアニールではドーパントが活性化できると共に、アニール処理によって新たに欠陥が生成され、その後の炉アニールにより欠陥構造の大半が除去できる。

(2) 及び (3) ドーピング濃度の制御は結晶成長中の基板温度とドーパントのフラック

ス量とフラックス制御時間により制御し、SIMS 分析によりドーパント濃度と濃度分布を調べた。この結果、元素比率の制御が可能なこと、ドーパント間距離を平均で 10nm 辺りまでを達成することができている。

(4) 平成 22 年度に行う予定でいる。

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) 多元素を重畳 δ ドーピングする課題を、結晶成長手法とレーザーアニール手法の組み合わせにより行い、ドーパント間距離を平均で 10nm 辺りに制御された上で、ドーパントが活性化されたため、当初から計画していた課題が予定通りに達成できたと判断。

4. 今後の研究の推進方策

今年度は作製試料の評価が主体の研究を計画しており、論文投稿等を重視して行く。

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 8 件)

- ① N. T. Kinahan, D. E. Meehan, T. Narushima, S. Sachert, and J. J. Boland, and K. Miki, Site-specific evolution of surface stress during the room temperature oxidation of the Si(111)-(7 x7) surface, *Physical Review Letters* **103**, 146101, 2010. 査読有
- ② J Javorský, J. H. G. Owen, M Setvín and K. Miki, Electronic structure of Bi lines on clean and H-passivated Si(100) *Journal of P*

physics: Condensed Matter **22**, 175006, 2010.
査読有

- ③ Kazuyuki Sakamoto, Martin Setvin, Kenji Mawatari, P. E. J. Eriksson, Kazushi Miki, and R. I. G. Uhrberg Electronic structure of the Si(110)-(16x2) surface: High-resolution ARPES and STM investigation Physical Review **B79** 045304, 2009 査読有
- ④ Dong Guo, K. Sakamoto, K. Miki, S. Ikeda, K. Saiki Alignment induced epitaxial transition in organic-organic heteroepitaxy Physical Review Letters **101**, 236103, 2008 査読有
- ⑤ Diedrich A. Schmidt and Kazushi Miki Defective Continuous Hydrogen-Bond Networks: An Alternative Interpretation of IR Spectroscopy ChemPhysChem **9**, 1914 – 1919, 2008 査読有
- ⑥ J. Gardener, J. H. G. Owen, K. Miki, and S. Heutz A scanning tunnelling microscopy investigation into the initial stages of copper phthalocyanine growth on passivated silicon surfaces Surface Science **18**, 1173-1177, 2008 査読有
- ⑦ A. Bandyopadhyay, and K. Miki Fabrication of a memory chip by a complete self-assembly process using state-of-the-art multilevel cell (MLC) technology Advanced Functional Materials **18**, 1173-1177, 2008 査読有
- ⑧ R.V. Belosludov, A.A. Farajian, H. Mizuseki, K. Miki and Y. Kawazoe Electronic and transport properties of bismuth nanolines for applications in molecular electronics Physical Review **B75**, 113411, 2007 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① 安武 裕輔, 大村 史倫, 田名網 宣成, 村田 晃一, 三木 一司, 深津 晋 シリコン点欠陥 (G-center) 由来の狭帯域エレクトロルミネセンスとその温度依存性 2010 年春季第 57 回 応用物理学関係連合講演会 2010 年 3 月 19 日, 東海大学
- ② Martin Setvín, Kazuyuki Sakamoto, Kazushi Miki, Spatially resolved STS on Si(110)-16x2, 10th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-10) 2009 年 9 月 22 日 Granada, Spain
- ③ J. Javorský, Kazushi Miki, James Owen, David Bowler, Electronic structure of Bi lines on clean and H-passivated Si(100) 10th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-10) 2009 年 9 月 22 日 Granada, Spain
- ④ Kazushi Miki, Novel delta doping technology

with two dopants in silicon towards quantum information processing platform、JSPS (Japan Society of Promotion of Science) & RFBR (Russian Foundation of Basic Science) Joint Laboratory of interdisciplinary research SB RAS (Siberian Branch of Russian Academy of Sciences) and Tohoku University: Russian-Japanese workshop (review conference) “State of materials research and new trends in material science” 2009 年 8 月 3 日 RFBR (Russian Foundation of Basic Science), Novosibirsk

- ⑤ Kazushi Miki, Kazuyuki Sakamoto, Martin Setvin, Kenji Mawatari, P. E. J. Eriksson, and R. I. G. Uhrberg Photoemission and scanning tunneling microscopy studies on the Si(110)-(16x2) surface The Symposium on Surface and Nano Science 2009 (SSNS'09) 2009 年 1 月 17 日 Shizukuishi
- ⑥ 三木一司 Novel delta doping process of two or more elements in Si: usage with a surface atomic nanoline as a starting material SYMPOSIUM ON SURFACE SCIENCE 2008 2008.3.3 St. Christoph am Arlberg, Austria

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: 半導体とその製造方法 (SEMICONDUCTOR AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME)

発明者: 三木一司、八木修平、日塔光一、坂本邦博

権利者: 物質・材料研究機構、産業技術総合研究所

種類: 特許

番号: 特願 2008-530980 (PCT /JP2007 /066584 からの移行)

出願年月日: 2007.8.27

国内外の別: 国内

名称: 半導体とその製造方法 (SEMICONDUCTOR AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME)

発明者: 三木一司、八木修平、日塔光一、坂本邦博

権利者: 物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 英国出願番号 0905200.2 (PCT /JP2007 /066584 からの移行)

出願年月日: 2007.8.27

国内外の別: 海外 (英国)

名称: 半導体とその製造方法 (SEMICONDUCTOR AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME)

発明者: 三木一司、八木修平、日塔光一、坂本邦博

権利者: 物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 米国出願番号 12/310,396 (PCT /JP2007 /066584 からの移行)

出願年月日: 2007.8.27

国内外の別: 海外 (米国)