

課題番号 P-13

## ホトニックハイブリッドデバイスへの応用を目的としたシリサイド半導体微細構造の作製

### [1] 組織

代表者：立岡 浩一

(静岡大学工学部)

対応者：三村 秀典

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

鈴木 基史 (京都大学工学研究科)

Nikolay G. Galkin (Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences)

### [2] 研究経過

シリサイドナノ構造の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、ホトニックデバイスへの応用を目的として研究を行った。本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまでは、シリサイド薄膜、バルク結晶、粉末の作製を行い、シリサイド相の成長過程が明らかになった。そこで本プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえながら、シリサイドナノ構造作製プロセスに関する研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を記す。本プロジェクトの目的・概要は下記のとおりである。

半導体工学の分野では材料の持つ電気的特性、光学的特性、磁気的特性などの中での相互作用を融合させ異種多様な物性のハイブリッド化を目指す材料研究が活発になってきた。今後の半導体工学の発展には、これまで以上の多種多様な材料の混載、機能融合によるデバイス展開や新機能制御の原理を見いだす事が急がれている。

シリサイドは多様な結晶構造、物性を示し、その起源についての統一的な解釈が難しい。最近になってシリサイドの多様性はフェルミ準位付近での spd バンドの混成状態による事が分かってきた。これは従来の sp<sup>3</sup> 混成軌道を基本とした半導体物性発現の起源が異なっており、従来の半導体にはない機能の創出、融合がより有効に実現される材料と期待されている。一方でシリサイドは Si テクノロジーと融合可能な半導体材料であり、これまでの Si-LSI 技術を継承しつつ、シリサイドの多様性からエレクトロニクス、フォトニクス、スピトロニクスの融合したテ

クノロジーの創出、発展が期待できる。例えばシリサイド半導体のもつオプトエレクトロニクス、フォトニクス、スピトロニクス特性を融合させた 1.5 μm 帯用光配線一体型光電変換素子、光ゲートスピントランジスタなどが提案されている。

このようにシリサイド半導体を、それぞれの機能融合材料に利用するには、ナノテクノロジーによる大きさ、形状の制御されたシリサイド半導体ナノ構造の作製が必要である。しかし、シリサイド半導体のパターン化技術、微細構造作製技術は確立されていない。微細構造を有するシリサイド半導体材料の作製技術の確立が不可欠である。ここではシリサイド半導体という新しい材料の加工技術として、Si 系材料の整形・加工技術を利用した形状制御されたシリサイド半導体微細構造の作製技術を確立する事を目的とする。

以下に研究会、研究打ち合わせ・研究討論会、研究発表会、研究集会等の開催状況を示す。

平成 22 年 6 月 23 日、京都大学鈴木准教授と研究打ち合わせ (於 京都大学)、Ge/Si テンプレート構造の検討、シリサイド化プロセスについて検討した。

平成 22 年度静岡大学電子工学研究所共同研究プロジェクトセミナーを平成 22 年 7 月 27 日 (於：静岡大学工学部) に開催し 9 名の参加者があった。ロシア科学アカデミー Prof. Galkin 他、4 件のシリサイド作製に関する講演の後、"Recent progress in semiconducting silicide research" の講演を題材にシリサイド研究についての現在の状況と今後の課題、技術マップについて討論した。

また APAC-silicide 2010 Tsukuba (Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials Science and Technology Towards Sustainable Optoelectronics, July 24-26, 2010, Epocal Tsukuba, Tsukuba, Japan) 開催時に於いて、立岡、京都大学鈴木准教授、ロシア科学アカデミー Prof. Galkin とで研究打ち合わせのためのミーティングの時間をもった (平成 22 年 7 月 25 日)。これまでの研究成果の確認、今後の方針について検討した。

ロシア科学アカデミー Prof. Galkin の浜松滞在中、

シリサイド化メカニズムの検討について詳細に議論した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、シリサイド超薄膜、ナノアイランド、ナノ粒子をテンプレートを用いず作製した。

○電子ビーム蒸着法により Si 基板上に $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> ナノアイランドを作製した。

○ソースとして MnCl<sub>2</sub> を用い、Si 基板上にナノアイランドを作製した。また Si 粉末を用いて MnSi<sub>1.7</sub> ナノ粒子を作製した。

○斜方晶 Ca<sub>2</sub>Si の他、正方晶カルシウムシリサイドからなる粒子を成長した。

第2に、形状制御されたシリサイド半導体ナノ構造作製の方法として、Si 及び Ge をテンプレートとしたナノ構造の作製を行った。

○Si 基板上に成長させた Ge ナノロッドをテンプレートとして Mg<sub>2</sub>Ge 及び Mg<sub>2</sub>Si ナノロッドを作製した。シリサイド化においては、Si 及び Ge を金属或いは金属を含む化合物の蒸気中にて熱処理を施す事により行った。

○SiO<sub>x</sub> ナノファイバーをテンプレートとしてナノファイバー形状の Mg<sub>2</sub>Si ナノコンポジットを作製した。Mg シリサイド化には SiO<sub>x</sub> ナノファイバーを Mg 雰囲気中で熱処理を施す事によりおこなった。

○微細加工によりパターン化された Si 構造を MnCl<sub>2</sub> により熱処理を行う事によりパターン化されたマンガンシリサイドを作製した。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、シリサイド半導体ナノ構造研究グループの構築に発展した。また、本プロジェクトで明らかになったナノ構造作製技術の成果は、ホトニックハイブリッドデバイス工学という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待されている。

APAC-silicide 2010 Tsukuba では、特に米国の研究者によるシリサイドナノ構造作製に関する発表数が以前より増加し、この技術の将来への発展性を示した。シリサイド半導体研究は日本発信の新しい研究パラダイムであり欧米、アジア研究者の参入とともに新しい研究ネットワークが構築されつつある。若手研究者育成のため Prof. Galkin による Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials (ASCO-NANOMAT). 21 to 28 August, 2011, Vladivostok, Russia を開催

予定である。その他、立岡、京都大学鈴木准教授、APAC-silicide を通してのネットワークからナノ構造作製と評価に関して、Prof. Li-Jen Chou (National Tsing Hua Univ., Taiwan) ははじめとする台湾の研究グループとのネットワーク構築を模索している。ロシアグループ及び米国グループとの共同研究には博士課程学生が、また台湾グループとの交流には修士課程学生が参加する事となった。

以上の交流を通しシリサイド半導体の多義にとんだ特性を利用した光ゲートスピントランジスタのような、半導体機能の融合の創出を容易に展開する事が可能となる。シリサイド半導体ナノ構造を主役としたエレクトロニクス、フォトニクス、スピトロニクスの融合したテクノロジーの創出、発展が期待される。これはフォトニックイメージングの分野にも、新しい概念を創出するであろう。

シリサイド半導体は資源豊富で安全な材料からなる半導体群のひとつとして期待されており、GaAs や HgCdTe に代表される赤色、赤外領域における光電変換材料への代替材料としても研究が進んでいる。本研究で得られたナノ構造を有するシリサイド半導体の環境問題への貢献も大きいと期待できる。また屈折率の大きい $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> や Mg<sub>2</sub>Si を利用した作製が容易でコンパクトなフォトニック結晶の実現が期待できる。また従来より熱電材料であるシリサイド半導体のナノテクノロジーへの展開、アクティブフォトクリスタル、ランダムレーザへの応用、スピトロニクス分野への展開など波及効果も大きい。

本研究過程において開発されたナノ構造作製技術は、シリサイド材料だけでなく、酸化物、金属ナノ構造の作製にも応用できる。例えばこれまで作製を行ったナノ構造では、酸化物である Cu<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> ナノワイヤーは太陽電池に、ZnO/ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ナノ構造は発光材料に、さらに金属 Ag ナノ構造は触媒医療分野応用への応用が期待されている。さらにシリサイドナノ構造評価の技術は NASA の宇宙探索研究にも生かされ太陽系の誕生と歴史をより明らかにすると期待されている。

### [4] 成果資料

(1) Fabrication of magnesium germanide nanorods from Ge nanorod templates, C.L. Wen, Q. Yang, H. Hara, M. Suzuki, W. Li, S.M. Cai, H. Tatsuoka, submitted to Asian School-Conference on Physics and Technology of Nanostructured Materials Vladivostok, Russia, August 21 – 28 August, 2011

出張報告

氏 名 : Prof. N. Galkin,

所 属 : Optics and Electrophysics Laboratory Institute of Automation and Control Processes Far  
Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

期 間 : 7月26日から7月29日

用務先 : 静岡大学工学部

用務内容 : シリサイド半導体微細構造の作製に関する共同研究のため

主たる対応者 : 立岡浩一