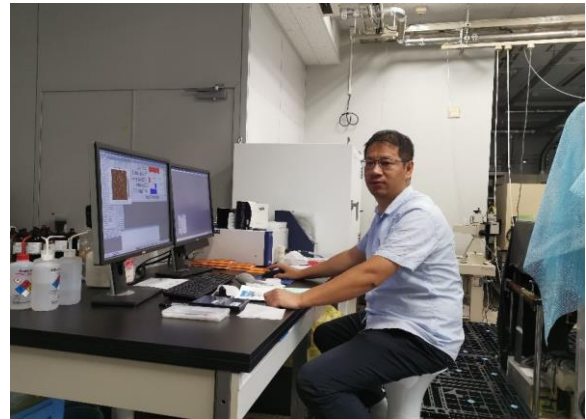


受入大学名	名古屋大学		
Host University	Nagoya University		
外国人研究者	張 海		
Foreign Researcher	Hai Zhang		
受入研究者	宮崎誠一	職名	教授
Research Advisor	Seiichi Miyazaki	Position	Professor
受入学部/研究科	工学研究科		
Faculty/Department	Graduate School of Engineering		

<外国人研究者プロフィール/Profile>

国籍	中国
Nationality	China
所属機関	内モンゴル工業大学
Affiliation	Inner Mongolia University of Technology
現在の職名	講師
Position	Lecture
研究期間	2019年07月22日～2019年10月19日 (90日間)
Period of Stay	90 days (July 22, 2019 - October 19, 2019)
専攻分野	電子工学
Major Field	Electronics



大学の研究室にて

<外国人研究者からの報告/Foreign Researcher Report>

①研究課題 / Theme of Research

リモート水素プラズマ支援による β -FeSi₂ナノドットの高密度形成及び結晶構造評価
 β 相の鉄シリサイド(β -FeSi₂)はバンドギャップ0.85 - 0.89 eVの直接遷移型半導体であり、光ファイバの吸収の最も少ない波長領域であり、可視域での光吸収係数が高いなどの優れた特性を示すことから、赤外の半導体発光・受光材料として期待される半導体であるといえる。一方、ナノメートルサイズの半導体結晶は様々な微細化電子デバイスへの応用が期待され、多くの研究が盛んに行われております。しかし、鉄シリサイドの組成がFeやSiという高融点元素から成ることや、安定相の α 相、準安定相の γ 相など、Fe-Si系化合物はさまざまな結晶形態を持つために、デバイス応用を考慮したうえ、基板へのダメージを与えないような低温プロセスで高品質な β -FeSi₂ナノドットの高密度形成は困難であることが知られている。

②研究概要 / Outline of Research

これまでに、確立してきた電子線蒸着により金属積層膜に外部非加熱でリモートH₂プラズマ(H₂-RP)処理を施し、金属原子の表面マイグレーションと凝集を促進することで、面密度 $\sim 10^{11}$ cm⁻²の高密度合金ナノドットが形成されることを報告した。電子線蒸着法とは異なり、スパッタされたターゲット原子が数eV程度と高いエネルギーを持った状態で基板に到達するため、低い基板温度でのFeとSi原子が混じり合うことが期待できる。本研究では、 β -FeSi₂の高密度形成および結晶性向上を目的として、Si基板を熱酸化して形成したSiO₂膜上に、化学量論組成比がFe:Si=1:2になるように、室温でFeとSiを同時スパッタリングにより堆積した。その後、外部非加熱で、H₂-RP処理を行った。初期膜厚とH₂-RP条件を制御し、H₂-RP処理前後の表面形状像をAFM、結晶特性をRamanにより評価した。

③研究成果 / Results of Research

(1) 形成したFe-Si膜についてH₂-RP処理前後で測定したAFM表面形状像結果、H₂-RP処理前の膜では、いずれの膜厚でも表面平均粗さ(RMS)(~ 0.3 nm)は下地SiO₂のRMSと同程度であることから、均一な膜堆積が確認できた。また、H₂-RP処理後には、RMSは処理前と比べ ~ 2 倍であり、面密度が 3.0×10^{11} cm⁻²ナノドットの形成が認められた。一方、H₂-RP処理の時間がドット形成に及ぼす影響を調べた結果、形成したドットの面密度は $3.0 \sim 7.6 \times 10^{11}$ cm⁻²を制御できることが分かった。
(2) 作成したナノドットのラマン散乱スペクトルを測定した結果、178 cm⁻¹に明瞭な β -FeSi₂からの信号が認められた。H₂-RP処理時間が結晶性に及ぼす影響を調べた結果、処理時間の増加に伴い、 β -FeSi₂から起源するもう二つの信号243cm⁻¹および274cm⁻¹が現れ、同時にいずれのラマンピックの強度が増大し、半値幅が減少する結果が認められた。これらの結果から、H₂-RP支援による同時スパッタリングした膜からの β -FeSi₂ドット形成において、H₂-RP処理時の条件を制御することで、 β -FeSi₂ナノドットの面密度制御と結晶性を向上させることが分かった。

④今後の計画 / Further Research Plan

まず、得られた成果は、2019年11月に開催される8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-VIII)にて発表する。さらに、実験条件を振ってメカニズムを調べて、今回の研究成果をもとに、共著論文を公表する。また、共同研究によりリモートプラズマ技術の自らの大学への導入し、今後には学生を共同指導或は学生を留学させ、研究協力との組合せ等により、大学か部局の間に共同研究教育実施可能な協定関係づくりを検討する。さらに、今後は今回の招へい事業で築き上げた関係をさらに発展させ、日本と中国間の研究交流を一層深めることに努めたく、より確実な学術交流とともに当該研究の国際的な発展を期待したい。

<受入研究者からの報告/Research Advisor Report>

① 研究課題 / Theme of Research

【リモート水素プラズマ支援による β -FeSi₂ナノドットの高密度形成及び結晶構造評価】

シリサイドやジャーマナイドおよび合金ナノ構造においては、表面エネルギーの寄与が顕在化する為に、バルクや薄膜とは異なった相構造の安定性をはじめとして、従来のバルク相図にはない准安定相の発現が予想され、新たな電子状態や機能の発現が期待できる。しかし、これらを系統的に研究した例は殆どなく、ナノサイズ領域での混晶化において、相構造制御や物性変調する手法は未だ確立されていない。本研究では、外国人研究者(張海)が博士後期課程において確立したFeシリサイドナノドットの形成手法を発展・高度化させて、FeとSiとの混晶化・ナノ構造化を制御する手法を確立し、新たな電子状態や機能性を有するシリサイドナノドットの創成を目指している。

② 研究指導概要 / Outline of Research

外国人研究者(張海)は、名古屋大学大学院での博士後期課程において、非結晶Siと極薄Fe膜積層構造を外部非加熱でリモート水素プラズマ処理することで、Feシリサイドナノドットが高密度一括形成できることを見出している(例えば、Jpn. J. Appl. Phys., 55, 01AE20/4pages (2016)。)。本研究では、赤外の半導体発光・受光材料として期待される β -FeSi₂に着目し、研究を推進する。具体的には、所属機関(内モンゴル工業大学)で作成した非結晶FeSi薄膜へのリモート水素プラズマ照射において、プラズマ照射時間およびガス圧力がナノドット形成に及ぼす影響を調べるとともに、デバイス応用を見据えた高品質 β -FeSi₂ナノドットの高密度形成を試みた。また、得られた成果は、受入研究者のみならず、学位論文副査(静岡大学・立岡浩一教授および名古屋工業大学・市村正也教授)とも議論を行い、国際ネットワークの構築も進めている。

③ 研究指導成果 / Results of Research

Si熱酸化膜(膜厚:~5.0nm)形成した非結晶FeSi薄膜(膜厚:~7.0、~12.0、~18.0nm)のAFM表面形状像を評価した結果、RMS表面ラフネスは~0.29nmであり、下地Si熱酸化膜の表面ラフネスと同程度であることから、平坦な薄膜が形成できていることが分かった。膜厚~7.0nmの非結晶FeSi薄膜を外部非加熱でリモート水素プラズマ処理した場合、ガス圧力26Pa、VHF投入電力500Wでは、処理時間10分においてナノドットの形成が認められ、その面密度は $\sim 6.0 \times 10^{11} / \text{cm}^2$ であった。この結果は、試料表面の局所加熱によるFeおよびSi原子の表面マイグレーション・凝集で説明できる。また、照射時間の増加に伴い、表面マイグレーション・凝集が促進されることに起因してドット面密度が低下することも分かった。また、形成したナノドットをラマン散乱分析した結果、178 /cmに明瞭な β -FeSi₂に起因する信号が認められたことから、 β -FeSi₂ナノドットが高密度一括形成が実現できていることが分かった。

④ 留学生交流事業の活動状況 / Activities of International Student Exchange Program

外国人研究者は、博士課程後期修了後も継続して「鉄系シリサイドナノドットの形成と機能性メモリデバイス応用に関する研究」を推進していることから、来日直後から高いモチベーションを持ち、土日を問わず熱心に研究活動取り組んでいる。また、自ら研究を行うとともに、受入研究者の研究室に在籍している博士課程前期の中国人留学生も積極的にサポートしている。特筆すべきは、短期間で得られた成果をまとめ、2019年11月に仙台にて開催される国際会議「8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces」に採択されたことであり、積極的かつ継続して研究活動を展開した結果であるの言うまでもない。さらには、本研究を推進するために、静岡大学および名古屋工業大学にて打ち合わせを実施し、共同研究分担体制を築くと共に、意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展している。

⑤ 今後の計画 / Further Research Plan

外国人研究者の提案する研究テーマ・内容は、これまでの研究成果・実績を踏まえて、新規ナノ材料の創出を意図しており、独創性が高く挑戦的である。今後も継続して連携することで、薄膜の膜厚、リモート水素プラズマ処理条件に対する依存性を定量評価すると共に、ナノドット固有相の発現を探索する。さらには、ナノドットの電気的・光学的特性、磁気特性やこれらの複合機能を明らかにし、Si系および金属ナノ構造の混晶化制御に関する基礎データや知見を蓄積する。これにより、シリサイドナノドットにおいて安定に存在する相構造や電子物性に関する理解を深める。また、継続して名古屋工業大学、静岡大学と連携が取れるように補佐するとともに、互いに得られた成果を国際会議で積極的に発表することで、学外研究者および海外研究者との交流が飛躍的に活性化させることで、新たなネットワーク構築へ発展させる。



静岡大学 立岡教授を訪問



プロセス実験中