

2020

## IV 族半導体表面界面制御に基づく 高速分子センシング技術の研究

### [1] 組織

代表者：永瀬 雅夫  
(徳島大学 大学院  
ソシオテクノサイエンス研究部)

対応者：小野 行徳  
(静岡大学電子工学研究所)

分担者：  
影島 博之 (島根大学  
大学院総合理工学研究科)  
大見 俊一郎 (東京工業大学  
工学院電気電子系)  
堀 匡寛 (静岡大学電子工学研究所)

### [2] 研究経過

生体分子をはじめとする多くの分子の検出において、いわゆる ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) は、その感度、およびエレクトロニクスとの親和性において他の検出手法に対して高い優位性を有している (例えば、N. Clemont et al., Nano Lett. Vol.13, 3903 (2013))。しかし、表面、界面散乱に起因する応答速度の劣化等の解決すべき課題も多い。本プロジェクトは、ISFET の高速動作を念頭に、グラフェンやシリコン (IV 族半導体) の表面、および界面の構造を原子レベルで制御し、これにより界面、表面の原子構造と、電子散乱過程との相関を明らかにすることを目的とする。

本プロジェクトは、本年度が初年度であるが、これまで、グラフェンの構造と移動度の相関、シリコン酸化膜成長におけるシリコン原子放出、犠牲酸化を用いた表面平坦化、シリコン酸化膜界面欠陥評価手法に関して、幾つかの進展がみられている (詳細は、[3]成果の項参照)。

また、平成 28 年 9 月 6 日に静岡大学電子工学研究所にて研究会を開催し、上記内容に関して議論を行った。プログラムの前半では、グラフェンに関する議論が行われた。SiC 上のグラフェンのエピタキシャル成長過程のメカニズム、表面平坦度、伝導特性等に関して、永瀬、影島より、それぞれ、実験的、理論的検討の結果が報告された。プログラムの後半では、シリコン表面、および界面に関する議論が行

われた。大見により、高温 Ar/H<sub>2</sub> 雰囲気中での表面平坦化プロセス、および同技術を利用したデバイスの伝導特性が報告された。一方、小野より、高温 Ar/O<sub>2</sub> 雰囲気中での界面平坦化プロセス、および同技術を利用したデバイスの伝導特性が報告された。最後に、堀より新しい界面評価技術が報告された。

これらの報告をもとに、永瀬、大見が有する技術を用いて作製されたデバイスを、小野、堀が評価し、一方、影島は、シリコン界面に対して理論的検討を加えるという大枠が決定し、今後の具体的な検討内容が議論された。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、グラフェン、およびシリコン酸化膜界面に関して、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、SiC の熱分解を用いて形成されたグラフェンの構造評価、および移動度を評価した。その結果、アニール時間を制御することにより、ステップ構造やカバレッジを制御できること、および、移動度低減の原因を明らかにした。また、4H-SiC 上に形成された単層グラフェンに対して顕微ラマン分光を適用し、表面ラフネスや金ナノ粒子によりラマン増強を確認した。

第 2 に、シリコンピラーの熱酸化過程におけるシリコン原子の放出過程に対して、報告者自身により提唱されているモデルを拡張 (精密化) することにより、シリコン原子放出がシリコンピラーの形状に敏感に依存する等の新たな知見を得た。また、SiC(11-20) 上に形成されたグラフェンに関して、原子構造と電子状態を第一原理計算を用いて解析した。その結果、安定と準安定 2 種類のタイプの構造が可能であることが明らかとなった。

第 3 に、Si(100), Si(110), Si(111) 表面に対して、犠牲酸化法を用いた平坦化プロセスを適用し、いずれの場合も表面ラフネスの RMS 値が減少し、これに伴って MOS の TDDDB 特性が向上することを見出した。また、PtHf シリサイドにおけるドーパント偏析について検討を行い、PH<sub>3</sub> のイオン注入に続き、N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 雰囲気中 450-500°C のアニールを行うことに

より、低抵抗コンタクトが形成できることを明らかにした。

第4に、シリコン酸化膜界面の特性を調べるために、新たにチャージポンピング EDMR 法を立ち上げ、良好な感度で界面欠陥を検出できることを確認した。また、チャージポンピングの実時間観測手法を SOI 界面に適用し、特異な基板バイアス効果を見出した。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、幾つかの興味深いアイデアも提案された。これらは、本プロジェクトメンバーの今後の研究に生かされる予定である。また、本プロジェクトは、新たな表面・界面物性の発現により、新たな電子物性創成にも道を開くものと期待される。

#### [4] 成果資料

(1) S. Urasaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **56**,

025201 (2017).

(2) T. Aritsuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 06GF03 (2016).

(3) H. Matsumura et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 06GF05 (2016).

(4) H. Kageshima et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 08PE02 (2016).

(5) H. Kageshima et al., e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **14**, 113 (2016).

(6) H. Hibino et al, Prog. Cryst. Growth Charact. Mater. **62**, 155 (2016).

(7) S. Kudoh and S. Ohmi, IEICE Trans. Electron., **E99C**, 504 (2016).

(8) S. Ohmi et al., J. Electron. Mater., **45**, 6323 (2016).

(9) T. Watanabe et al., Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 011303 (2017).

(10) M. Hori et al., Appl. Phys. Express, **10**, 015701 (2017).

## 出張報告

氏名：永瀬 雅夫

所属：徳島大学 大学院 ソシオテクノサイエンス研究部

期間：平成28年9月6日～9月7日

用務先：静岡大学 電子工学研究所

用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究会を行い、成果の発表及び議論を行った。

主たる対応者：小野 行徳

氏名：影島 博之

所属：島根大学 大学院総合理工学研究科

期間：平成28年9月6日～9月7日

用務先：静岡大学 電子工学研究所

用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究会を行い、成果の発表及び議論を行った。

主たる対応者：小野 行徳

氏名：大見 俊一郎

所属：東京工業大学 工学院電気電子系

期間：平成28年9月6日～9月7日

用務先：静岡大学 電子工学研究所

用務内容：共同研究プロジェクトに関する研究会を行い、成果の発表及び議論を行った。

主たる対応者：小野 行徳