

## 高感度欠陥検出技術の確立

### [1] 組織

代表者：神岡 武文  
 (豊田工業大学)  
 対応者：堀 匡寛  
 (静岡大学電子工学研究所)  
 分担者：小野 行徳  
 (静岡大学電子工学研究所)

### [2] 研究経過

#### 【研究の背景・目的】

バイオセンサーの一つとして広く利用されている ISFET (Ion Sensitive Field-Effect-Transistor) は、MOS トランジスタのゲート金属部をイオン感応膜に置き換えた構造をしており、特定のイオンをトランジスタの電流から検出するものである。本研究では、シリコンをベースとした ISFET の高感度化(シグナル電流の低雑音化)を最終目標として、ここでは特に、シリコン/シリコン酸化膜界面、あるいはシリコン結晶中における欠陥を高い感度で検出し、解析する技術の構築を目的とする。

本共同研究プロジェクトは今年度が初年度である。そのため、これまでの研究成果の情報を共有することを目的として、平成 29 年 10 月 31 日に電子工学研究所にて第 1 回のセミナーを開催した。本セミナーは、当該デバイスの生体への応用も見据えて、生体医歯工学共同研究プロジェクト(代表：早稲田大学 三宅准教授)との合同セミナーの形式で行った。

早稲田大学の三宅からは、糖を利用したバイオ発電技術の進捗状況や液中の pH 制御可能なデバイスの開発などに関する報告があった。豊田工業大学の神岡からは、太陽電池発電開発の現状と課題についてのレビューの後、高効率なシリコン太陽電池作製のための実験とシミュレーションを用いたアプローチについて報告があった。静岡大学の堀からは、MOS トランジスタ界面の欠陥評価手法の立ち上げについて報告があった。

また、同セミナーでは、半導体中や半導体酸化物界面における欠陥の解析技術に関して今後とも積極的に情報を共有していくことを確認した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、新しい界面欠陥検出手法であるチャージポンピング EDMR 法を立ち上げ、同手法をシリコン/シリコン酸化膜に適用した。EDMR (Electrically detected magnetic resonance) 法は、電子スピン共鳴を(マイクロ波の吸収としてではなく)トランジスタ電流の変化として検出する手法であり、チャージポンピング EDMR 法は、チャージポンピングモードで EDMR を行うものである。

今年度は、低温測定システムを新たに導入し、その立ち上げを行った。各測定温度においてサンプルトランジスタの電流のノイズを評価したところ、このノイズはトランジスタで生じる Generation Recombination (GR) ノイズに起因していることがわかった。これは、チャージポンピング電流の過渡電流成分をフィルタリングしたことにより、測定系のノイズが十分に抑制されていることを示唆するものである。

次に、N 型 MOSFET を配線した状態で電子スピン共鳴装置(Xバンド, 10GHz)のキャビティに挿入し、磁場を掃引して電子スピン共鳴に伴う電流の微小変化をロックイン検出した。

測定温度を 30K に設定し、ロックイン出力(微分信号)を取得した。その結果、電子スピン共鳴に伴うチャージポンピング電流の変化(チャージポンピング EDMR 信号)が観測された。これを積分しピーク分離したところ、3つのピークで構成されていることがわかった。それぞれのg値(共鳴磁場)から、信号の起源は主要な欠陥である  $P_{b0}$  センタ、 $P_{b1}$  センタ(界面欠陥)、および  $E'$  センタ(酸化膜トラップ)であると考えられる。さらに、スペクトルの両端に小さな2つのピークも検出され、これは水素原子の核スピンと捕獲電子スピンの相互作用による超微細構造信号(74 Gauss・ダブルレット)であると考えられる。同欠陥はこれまでにトランジスタ界面のような高品質の酸化膜界面では検出されることがなく、本研究によって初めて確認された。

以上のように、同手法をシリコン MOS トランジスタに適用することで、チャージポンピング電流に寄与する界面欠陥の種類を初めて直接的に同定することに成功した。

### (3-2) 波及効果と今後の予定

本年度の成果は、MOS 界面の信頼性評価の研究分野に貢献するものである。今後は、トランジスタの作製やトランジスタにおけるノイズの解析において、意見交換していくとともに、チャージポンピング EDMR 法を用いて少数個の欠陥検出にも挑戦していく予定である。

### [4] 成果資料

(本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト掲載してください。)

(1) M. Hori, T. Watanabe, Y. Ono, 2017 15th Intl. Conf. QiR: Intl. Symp. Elec. and Com. Eng. pp. 52-56 (2017).

(2) M. Hori, T. Tsuchiya, and Y. Ono, Applied Physics Express 10, 015701\_1-4, 2017.

(3) 堀匡寛、土屋敏章、小野行徳、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年 9 月 5-8 日、福岡国際会議場、Abstract 7a-PB3-9 (第 43 回応用物理学会講演奨励賞、第 10 回 Poster Award を受賞)

出張報告 (共同研究プロジェクトの予算を使用した場合について、全員分記載して下さい。)

氏 名：神岡 武文

所 属：豊田工業大学

期 間：平成 29 年 10 月 31 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、成果の発表および議論を行った。

主たる対応者：堀 匡寛