

平成 21 年 4 月 27 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006～2009

課題番号：18360148

研究課題名 (和文) 金属 / 微小空隙 / 半導体構造の電子応答による生体のエネルギー準位分析デバイスの研究

研究課題名 (英文) A STUDY ON ENERGY LEVEL CHARACTERIZATION DEVICES FOR BIOLOGICAL MATERIALS BY ELECTRON RESPONSE OF METAL/MICRO-GAP/SEMICONDUCTOR STRUCTURES

研究代表者

森田 瑞穂 (MORITA MIZUHO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50157905

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：シリコン シリコン酸化膜 微小空隙 電子応答 センシングデバイス

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、金属 / 微小空隙 / 半導体構造の交流電子応答を測定することにより、空隙中の生体のエネルギー準位などの物性を分析する方法を開拓することである。具体的には、次のことを明らかにする。(1) 空隙中の生体を、交流容量(C) - 電圧(V)特性、コンダクタンス(G) - 電圧(V)特性として検出できることを実証する。(2) 生体溶液と水素終端シリコン表面、化学酸化膜表面、極薄熱酸化膜表面との反応を明らかにし、高感度、高安定センシング表面を開発する。(3) 生体に適した空隙長などのデバイス構造を明らかにして、ナノメートルスケールの生体の高感度分析が可能であることを実証する。

2. 研究の進捗状況

シリコン酸化膜をスペーサとしたシリコン / 微小空隙 / シリコンダイオード構造のナノ空隙中に超純水を導入し、C - V 特性および G - V 特性を測定したところ、水のエネルギー準位とシリコンのエネルギー帯との間で電子が行き来することに起因する電子応答容量ピークおよびコンダクタンスピークを初めて観測した。そして、エタノールのピークも観測した。

金 / 空隙 / n 型シリコン構造の空隙中にデオキシリボ核酸 (DNA) 溶液を導入し、C - V 特性を測定したところ、電子トラップに起因するヒステリシス (右回り) と DNA の負電荷に起因するフラットバンド電圧シフトを初めて観測した。さらに、DNA 溶液の濃度が高くなると、正電圧方向掃引のフラットバンド電圧が正電圧方向へシフトすることを見だし、DNA の濃度を測定できることを明らか

にした。

金 / 空隙 / シリコン酸化膜 / n 型シリコン構造の空隙中に DNA 溶液を導入し、C - V 特性を測定することにより、DNA の負電荷によるフラットバンド電圧シフトを観測した。そして、フラットバンド電圧シフト量から、DNA の電荷量を検出することにより溶液中の DNA の濃度を測定できることを明らかにした。

アルミニウム / シリコン酸化膜 / 空隙 / シリコン酸化膜 / n 型シリコン構造の空隙中に酢酸あるいは DNA 溶液を導入し、C - V 特性を測定したところ、可動イオン電荷に起因するヒステリシス (左回り) とイオン濃度を反映したフラットバンド電圧シフトを観測した。そして、pH 感度で従来より 1 桁以上の高感度センシングを実証した。さらに、空隙中に超純水を落下させ、容量 - 時間特性を測定することにより、空隙中における超純水の挙動を明らかにした。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

(理由)

金属 / 微小空隙 / 半導体構造の電子応答による生体の物性を分析するデバイスの研究計画において、具体的な目的である (1) 生体の電気検出の実証、(2) 生体溶液とセンシング表面との反応の解明、(3) 生体の高感度分析の実証を達成した。さらに、シリコン表面上のシリコン酸化膜の生体センシング感度への影響を明らかにするために、金属 / シリコン酸化膜 / 微小空隙 / シリコン酸化膜 / シリコン構造を製作し、微小空隙に酢酸あるいは DNA 溶液を導入して電子応答を測定したところ、pH 感度で従来のイオン感応性電

界効果トランジスタより1桁以上の高感度センシングを達成した。これは、当初研究計画では予測していなかった成果である。この高感度センシングメカニズムとして、金属とシリコンに電圧を印加すると、空隙中の電界が増加し、多くのイオンがセンシング表面であるシリコンに近づいてイオン濃度が局所的に高くなったことが考えられる。この現象は、空隙長を約 1 μ m まで短くしたために見いだすことができた。

4. 今後の研究の推進方策

(1) DNA 溶液の電子応答分光法を開発する。センシングデバイスのナノ空隙に種々の DNA 溶液を導入して、電子応答容量、コンダクタンスとして検出できることを実証する。さらに、溶液中での DNA の物性研究が可能であることを実証する。

(2) 溶液落下型空隙構造デバイスによる生体センシングを実証する。溶液落下型空隙構造デバイスを製作し、溶液落下流路の一部として、DNA 溶液の分析が可能であることを実証する。

(3) 生体センシングの周波数依存性を解明する。センシングデバイスのナノ空隙に、DNA 溶液を導入し、容量、コンダクタンスを広い周波数範囲で測定し、生体センシングの周波数依存性を解明する。そして、DNA 溶液特有の高感度センシング周波数を特定する。

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 6 件)

Takaaki HIROKANE, Hideaki HASHIMOTO, Daisuke KANZAKI, Shinichi URABE, Kenta ARIMA, Junichi UCHIKOSHI, and Mizuho MORITA, Metal-Insulator-Gap-Insulator-Semiconductor Structure for Sensing Devices, ANALYTICAL SCIENCES, 25, 101-104, 2009, Peer-reviewed.

Takaaki Hirokane, Daisuke Kanzaki, Hideaki Hashimoto, Shinichi Urabe, Kenta Arima, Junichi Uchikoshi and Mizuho Morita, Sensing of DNA solutions by metal-gap-semiconductor devices, Surface and Interface Analysis, 40, 1131-1133, 2008, Peer-reviewed.

[学会発表](計 15 件)

Hideaki Hashimoto, Takaaki Hirokane, Daisuke Kanzaki, Shinichi Urabe, and Mizuho Morita, Sensing Device with Metal-Insulator-Gap-Insulator-Semiconductor for Biological Sensors,

Abstracts, 212th Meeting of The Electrochemical Society, Washington, DC, October 10, 2007, 1572-1572, Not peer-reviewed.

[産業財産権]

出願状況(計 1 件)

名称: 検出素子およびそれを用いた検出装置

発明者: 森田 瑞穂, 廣兼 孝亮

権利者: 森田 瑞穂

種類: 特許

番号: 特願 2007-248433

出願年月日: 平成 19 年 9 月 26 日

国内外の別: 国内、PCT 国際

取得状況(計 1 件)

名称: 検出装置

発明者: 森田瑞穂

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 3931294 号

取得年月日: 平成 19 年 3 月 23 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www-pm.prec.eng.osaka-u.ac.jp/>