

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360285

研究課題名 (和文)

低速陽電子ビームによる絶縁膜/Si 界面の遷移層及び歪の研究

研究課題名 (英文)

Study of insulator/Si interfaces and their stress using a monoenergetic positron beam

研究代表者 上殿 明良 (Uedono Akira)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授

研究者番号：20213374

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：陽電子消滅，低速陽電子ビーム，絶縁膜

1. 研究計画の概要

低速陽電子ビームを用いた酸化膜/半導体構造評価手法を開発し，理想的な金属/酸化膜/半導体界面構造を得るためのプロセスを探索する。従来から使用してきた低速陽電子ビームラインを改造し，ビーム径縮小システムを製作し 3 次元で欠陥分布を計測する。また，低速陽電子ビーム，XPS，電気的特性評価等により，TiN/SiO₂/Si, HfSiO_x/Si, CVD-SiO₂, 熱酸化 SiO₂ を評価することによりこれらの欠陥と電気的特性の関係を探る。加えて，Cu/low-*k* 配線構造を有する試料について low-*k* とメタルバリアの反応を解明する。

2. 研究の進捗状況

低速陽電子ビームラインを改造し，ビーム径を縮小するシステムを製作した。シミュレーションにより陽電子ビームを縮小できる磁気レンズ系を最適化した。この結果に基づき装置を製作し，低速陽電子ビームを直径 10-15 mm 程度から 2 mm 程度に縮小することができた。加えて，x-y ステージを超高真空ビームラインに設置することにより，完全自動で点欠陥マッピングが測定できるシステムを構築した。

TiN/SiO₂/Si 構造では TiN 膜の形成により，SiO₂ 及び SiO₂/HfSiON 膜中へ電荷トラップが導入されることを見出した。これに関連し TiN/SiO₂ 界面に TiON が形成されるが，高温焼鈍によりその量は減少した。一方，TiN/SiO₂ 界面の電荷トラップは高温焼鈍により増大するが，その量は TiN 形成のためのプロセス依存性に依存することが分かった。

Si 基板上に成膜した TEOS・CVD-SiO₂ の熱処理過程，空隙，電流-電圧特性の相関性を調

べた。TDS により 700°C 付近から TEOS・CVD-SiO₂ 膜より H₂O, C₂H₄, CO 等が脱離することがわかった。陽電子消滅により 800°C で膜の空隙率は最大となり，これを起因として不純物脱離が開始される。800°C 以上では，空隙サイズは減少するが，結合マトリックスの再配列による空隙縮小に対応する。

配線材料中の材料評価を行うには，陽電子ビームをデバイスの配線幅程度のサイズに縮小するのが理想的であるが，そのような陽電子ビームは得られていない。一方，陽電子の振る舞いは金属や低誘電率材料中では異なるので，陽電子ビームを試料全体に入射させても，それぞれの構成材料に対応するシグナルを分離できる可能性がある。本研究では，シグナル分離が実際に可能であることを実証することができた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

本研究により，陽電子消滅を用いて基板へ形成した酸化膜の評価ができるだけでなく，界面に形成された電荷の評価が行えることが明らかに成った。なお，当初，予定していなかった，LSI 実配線構造を陽電子で評価することに成功した。これは陽電子消滅によりプロセスモニタが可能であることを示唆したといえ，大きな成果であると考えられる。よって，当初の計画以上に進展したと判断できる。

4. 今後の研究の推進方策

現在，絶縁膜の薄膜化だけでなく，Si 基板側のドーピング層も極薄化が進行しており両者が表裏一体となって MOSFET の微細化が

進行している。よって、本研究では、酸化物および界面側だけでなく、Si 基板側の欠陥評価も追加して行う予定である。

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 33 件)

1. A. Uedono, N. Inoue, Y. Hayashi, K. Eguchi, T. Nakamura, Y. Hirose, M. Yoshimaru, N. Oshima, T. Ohdaira, and R. Suzuki, "Characterization of low- k /Cu damascene structures using monoenergetic positron beams," Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 120222(1-3) (2009). 査読有り.
2. R. Hasunuma, C. Tamura, T. Nomura, Y. Kikuchi, K. Ohmori, M. Sato, A. Uedono, T. Chikyow, K. Shiraishi, K. Yamada, K. Yamabe, "Reversible and Irreversible Degradation Attributing to Oxygen Vacancy in HfSiON Gate Films During Electrical Stress Application," Proc. IEEE Int. Electron Device Meeting (IEDM), 131-134 (2009). 査読有り.
3. A. Uedono, N. Inoue, Y. Hayashi, K. Eguchi, T. Nakamura, M. Yoshimaru, N. Oshima, T. Ohdaira, and R. Suzuki, "Characterization of low- k SiOCH layers in fine-pitch Cu-damascene interconnects by monoenergetic positron beams," Proc. 12th IEEE 2009 Int. Interconnect Tech., 75-77 (2009). 査読有り.

[学会発表] (計 36 件)

1. 上殿明良, 井上尚也, 林喜宏, 江口和弘, 中村友二, 廣瀬幸範, 吉丸正樹, 大島永康, 大平俊行, 鈴木良一, "低速陽電子ビームを用いたCu/Low- k 配線構造中の欠陥検出", 配線・実装技術と関連材料技術, 機械振興会館 東京, 2010年2月5日.