

【特別推進研究】

理工系（工学）



研究課題名 原子オーダ平坦な界面を有する3次元立体構造トランジスタの製造プロセスに関する研究

東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授

おおみ ただひろ
大見 忠弘

研究分野：電気電子工学、電子・電気材料工学
キーワード：電気・電子材料（半導体）

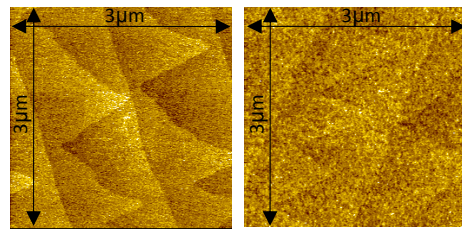
【研究の背景・目的】

現状のシリコン集積回路(LSI)は、(100)シリコン表面上にだけ2次元平面形状のトランジスタを用いて製作されている。結果として、現状のシリコン技術はシリコン結晶の有する全性能を駆使することが全くできず、そのごく一部を活用しているにすぎない。そのため、ゲート絶縁膜の薄膜化と寸法微細化だけで進歩を遂げて来た現状のシリコン技術は完全に行き詰まり、LSIの性能向上が完全に停滞してしまっている。この困難を克服するには、任意のシリコン表面上に、ゲート絶縁膜とシリコンの界面が原子オーダで平坦になされた3次元立体構造MOSトランジスタを製造するプロセス技術を創出して、シリコン結晶の有する全性能を駆使することにより、超低消費電力で文字通り超高速動作するバランスドCMOSシリコンLSIを創出することが本研究の目的である。すなわち、停滞している現状のシリコンLSI技術を、その理論限界に向かって連続的に超高速化させることである。そのために3次元立体構造MOSトランジスタの側壁シリコン表面の原子オーダ平坦化が必要なのである。

【研究の方法】

バランスドCMOSを構成するトランジスタは、①現状のInversion Mode MOSトランジスタからAccumulation Mode MOSトランジスタへ、②(100)面基板2次元平面形状から(551)SOI基板3次元立体構造へ、③ゲート絶縁膜/Si界面の原子オーダ平坦化、これらの技術を導入することにより電子・ホールの散乱要因が原理的に消滅もしくは激減し、シリコンLSIの圧倒的な性能向上が実現される。しかし、これらの技術は、現状のシリコン技術では全く実現不可能であり、我々が開発したウルトラクリーンテクノロジーを駆使したラジカル反応ベースの新しい製造技術によりはじめて具現化される。図1は原子オーダで平坦化されたSi(100)表面をラジカル酸化および従来の熱酸化した後のSiO₂/Si界面を原子間力顕微鏡で測定した結果である。ラジカル酸化で形成した界面は原子1層のステップと原子オーダで平坦なテラスが維持されているのに対し、従来の熱酸化で形成したSiO₂/Si界面は凸凹に粗れている。本研究では、我々が開発したダメージや汚染を一切与えないプラズマ装置を用いたラジカル反応ベースの新製造技術を駆使し、従来では全く実現不可

能であった3次元立体構造シリコン表面および側壁面の原子オーダ平坦化に取り組む。



ラジカル酸化膜/Si界面 従来の熱酸化膜/Si界面
図1 原子間力顕微鏡で測定したSiO₂/Si界面ラフネス

【期待される成果と意義】

ゲート絶縁膜とシリコンの界面が原子オーダで完全に平坦化された3次元立体構造のMOSトランジスタが実現されれば、トランジスタの電流駆動能力がきわめて大きくなると共に、MOSトランジスタの特性ばらつきが激減し、1/f雑音も激減する。結果として、誤動作をまったく起こさず完全な信頼性を維持しながら、電源電圧を小さくでき、消費電力を電源電圧の2乗に比例して小さくできるのである。情報通信機器の低消費電力化を図りながら、超高速化・超高性能化が実現される意義はきわめて大きい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. R. Kuroda, T. Ohmi, et al., "Atomically Flat Silicon Surface and Silicon/Insulator Interface Formation Technologies for (100) Surface Orientation Large-Diameter Wafers Introducing High Performance and Low-Noise Metal-Insulator-Silicon FETs", IEEE Trans. Electron Dev., VOL.56, NO.2, pp.291-298, February 2009.
2. T. Ohmi, et al., "Revolutional Progress of Silicon Technologies Exhibiting Very High Speed Performance Over a 50-GHz Clock Rate", IEEE Trans. Electron Dev., VOL.54, NO.6, pp.1471-1477, June 2007.

【研究期間と研究経費】

平成22年度－26年度

474,400千円

【ホームページ等】

<http://www.fff.niche.tohoku.ac.jp/>

Email: ohmi@fff.niche.tohoku.ac.jp