18p-E14-13

局在プラズモン共鳴を用いた
トランジスタチャネル領域最表面のラマン評価

Raman analysis of the surface strain in transistor channels using localized plasmon resonance

明治大理工　木嶋　隆浩、小瀬村 大亮、シティノルヒダヤー・ビンティ・チェ・モハメドユゾフ、
山本　章太郎、今井　亮佑、小椋　厚志
Meiji Univ., T. Kijima, D. Kosemura, Siti Norhidayah binti Che Mohd Yusoff,
S. Yamamoto, R. Imai, and A. Ogura
E-mail: ee31029@meiji.ac.jp

背景と目的：歪技術はポストスケーリング時代における重要な技術であるが、微細化されたチャネル内に印加される歪の測定は困難である。しかしその理解と制御は今後もトランジスタ性能を向上していく上で必要不可欠である。我々はこれまでに 32 ノード世代の集積回路におけるトランジスタのチャネル歪を UV ラマン分光法により検出した[1]。この手法の場合、微小チャネル領域から得られる信号が微弱なため、1 点あたりに要する測定時間が 10－40min と比較的長く、バラつきの解析などで必要な多点測定に向かない。そこで本研究では、表面増強ラマン分光法（SERS: surface enhanced Raman spectroscopy）[2]を用いることによって信号増強を図り、かつチャネル最表面の歪測定を行った。

実験:市販されているデバイスを構成する素子の内チャネル長が約 100 nm のトランジスタを試料とした。ラマン測定を行うために、機械研磨と溶液エッチングでトランジスタチャネル表面を露出させた[1]。配線除去のために熱硝酸溶液およびフッ酸溶液を用い、アンモニア水と過酸化水素水の混合液を用いてメタルゲート電極を除去した。SERS 効果を得るために、エッチング後試料表面に粒径 30 nm の銀ナノ粒子分散液をウンデカン（$C_{11}H_{24}$）をスピンコーティングした。コーティング後、170 ℃で 5 分焼結した。SERS 測定で用いた対物レンズの開口数は 1.4（波長 532 nm 用油浸レンズ）であり、通常ラマン測定では 0.7(532 nm ドライレンズ)、および 0.5(364 nm 用ドライレンズ)とした。分光器の焦点距離は 2000 mm であり、極めて高い波数分解能（0.1 cm^{-1}）測定が可能になる。

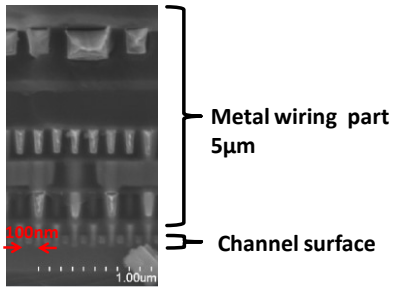

Fig.1 Cross-sectional SEM image of large-scale integrated circuit

結果と考察：Fig. 1 に集積回路の断面 SEM 像を示す。層厚 5 μmの配線と複数のトランジスタが確認できる。配線、およびメタルゲート電極を除去してチャネルを露出させた後、SERS 測定、UV ラマン測定および可視ラマン測定を行った結果を Fig. 2 に示す（露光時間は全て同等）。SERS 測定で得られたラマン信号と UV、可視ラマンで得られた信号とを比較すると、SERS 技術を用いることによって信号増強が確認できる。さらに、可視ラマンスペクトルに比べて、SERS および UV ラマンスペクトルのピーク位置が低数波側にシフトしている。この低数波シフトはトランジス最表面タチャネルに印加された引っ張り応力によるものだと考えられ、侵入長が浅い UV ラマン[3]、および SERS 効果によりチャネル表面歪が検出されたと解釈できる。SERS 技術は最表面に印加された歪を効率的に測定可能な手法であると考えられる。

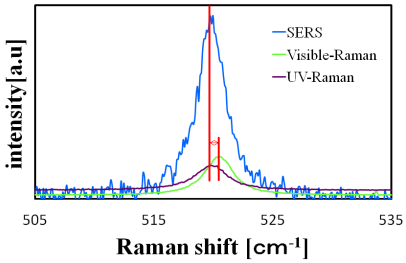

Fig.2 Raman spectra from Si transistors obtained by SERS, UV-Raman, and visible-Raman.

本研究は半導体理工学研究センター(STARC)の助成を受けて行われた。

[1] M.Takei *et al*., J.Appl.Phys. **51**, 04DA04 (2012), [2] H. Hashiguchi *et al*., J. Appl. Lett. **101**, 172101 (2012), [3] A.Ogura et al., Jpn J. Appl. Phys. **45**, 3007 (2006).

© 2014 年　応用物理学会