18p-A14-18

Si 基板中への高温酸素イオン注入により形成した SOI 構造の評価
Analysis of SOI structure formed by high-temperature oxygen implantation into Si substrates

神奈川大理　神川智洋，星野靖，斎藤保直，中田穣治
Department of Mathematics and Physics, Kanagawa University
Tomohiro Kamikawa, Yasushi Hoshino, Yasunao Saito, and Jyoji Nakata

SOI（Silicon On Insulator）構造とは、Si 基板と表面単結晶 Si 層の間に絶縁膜(例えば SiO_2 など)を挿入したものである。この SOI 構造を有する基板上に作製した LSI は、従来の Si 基板上に作製したものに比べ、浮遊容量や基板への漏れ電流を大幅に低減できることから、省エネルギーかつ高性能電子デバイス基板として期待されている。さらに近年、SOI-Si 層に効果的に歪みを導入することにより、従来に比べ高速動作が可能なデバイスの作製も試みられている。

SOI 基板の作製法としては、(1) 熱酸化膜を作製した基板に単結晶 Si を貼り合わせ、後に Si を薄膜化する手法(貼り合わせ SOI) と(2) Si 基板への高ドース酸素イオン注入と高温アニールを組み合わせた方法により、単結晶 Si 層と Si 基板の間に埋め込み SiO_2 層を形成する手法(SIMOX 法)の 2 つが挙げられる。現在は、貼り合わせ方式による SOI 基板の作製が主流であるが、基板の貼り合わせと層分離からなる工程が非常に複雑であり、多くのコストがかかるという欠点がある。一方、SIMOX 方式では、原理的には一連のプロセスライン上での作製が可能であり工程がシンプルであると同時に、SOI 層の厚さも容易にコントロールできる利点がある。しかしながら、イオン注入時に SOI-Si 層の欠陥や構造の乱れが導入されることや、埋め込み SiO_2 層の構造的あるいは電気的な不完全性が残るという課題もある。Izumi らが提案した最も効果的な SIMOX 構造の作製においては、500 °C 程度の基板温度で 10^{17} ~ 10^{18} ions/cm^2 オーダの酸素イオンを Si 基板中へ打ち込むことにより Si 基板中へ酸化膜層を形成し、SOI 層の結晶性回復と SiO_2-BOX 層の安定化のための 1300 °C 以上 数十時間の超高温ポストアニールが必要である[1,2]。アニール工程は、結晶性回復のために不可欠であるが、これは SIMOX 方式におけるコスト高の要因の一つになっている。これらのことから、いかに Si 層の結晶性を保ったまま、酸素イオンを注入するかということが課題となる。

本研究では、SIMOX 方式におけるより効果的な SOI 構造の形成プロセスの確立を目的とし、さまざまな注入時基板温度(RT – 1000 °C)およびイオン注入量(10^{16} ~ 10^{18} ions/cm^2)で酸素イオン注入を行い、SOI-Si 層の結晶性の変化と SiO_2 BOX 層の組成変化を系統的に調べた。なお本実験では、180 keV の O イオンを Si(001)基板へ注入した。この条件において、TRIM コードで見積もった O イオンの注入深さ(平均射影飛程)は約 400～500 nm であり、深さ方向のストラグリングは、約 200 nm であった。作製した試料は、顕微ラマン分光法、2 次イオン質量分析法(SIMS)および断面透過電子顕微鏡(TEM)により評価した。顕微ラマン分光測定において、励起光として Blue(442 nm)と Green(532 nm)の光を用いた。ここで、それぞれの励起光の Si への侵入長は、Blue レーザーでは約 100 nm、Green レーザーでは約 1000 nm である。これより Blue レーザーは基板表面の Si、Green レーザーは O イオン埋め込み層上下の Si の測定が可能である。

図 1 にさまざまな基板温度で高密度酸素イオンを注入した試料に対して、励起光 Green レーザーを用いて測定したラマン分光スペクトルを示す(点は実験データ、線はローレンツ分布によりベストフィットしたもの)。参照のために、未注入試料に対して測定したラマン分光スペクトルも示す。未注入バルク Si のピーク半値幅は、約 3 cm^{-1} であった。室温注入では、Si 結晶が破壊されたためラマンピークはほとんど現れていないことが分かる。基板温度 500 – 800 °C でイオン注入した試料では、二つのピークが観測された。これらのピークのうち、高波数側の成分は、基板 Si のものであり、低波数側の成分はイオンビーム照射により形成された非晶質 Si の成分だと考えられる。一方、1000 °C で注入した基板では非晶質 Si 成分のピークは現れず、結晶 Si のピークのみが確認できた。また、ピークの半値幅も 4 cm^{-1} と未注入のものに比べ、顕著に広がっていないことから、1000 °C での高温注入では Si 結晶への照射ダメージがかなり低減できることがわかる。

当日は、ラマン分析の結果に加え、SIMS による Si および O の組成深さ分布と断面 TEM 分析結果を合わせ、高温イオン注入による SOI 層形成に関する詳細を述べる予定である。

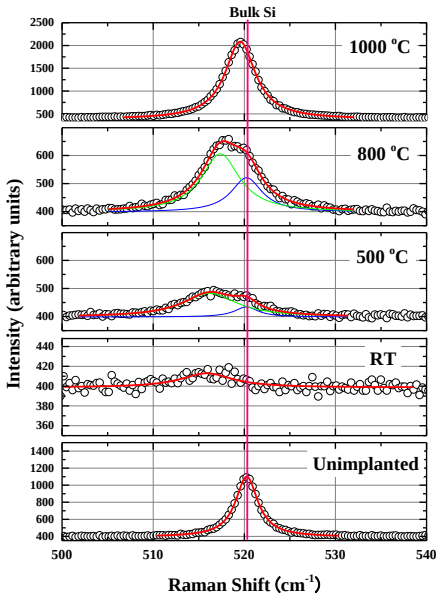

図 1: 基板温度 RT ~ 1000 °C で酸素イオン注入した試料に対するラマン分光スペクトル。

[1] K. Izumi et al. Electron. Lett. **14**, 593 (1978).
[2] S. Nakashima, PhD Thesis, Toyohashi Univ. of Tech. (1993).

© 2014 年　応用物理学会