

## 貼り合せ MOS 型光変調器実現に向けた Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HfO<sub>2</sub> 界面によるボイド低減手法の検討

Void reduction by using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HfO<sub>2</sub> interface for wafer-bonded MOS optical modulators

東大院工<sup>1</sup>, JST-CREST<sup>2</sup>, 日本学術振興会特別研究員<sup>3</sup>

○韓 在勲<sup>1,2,3</sup>, 竹中 充<sup>1,2</sup>, 高木 信一<sup>1,2</sup>

Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, JST-CREST<sup>2</sup>

○Jaehoon Han<sup>1,2</sup>, M. Takenaka<sup>1,2</sup>, S. Takagi<sup>1,2</sup>

E-mail: hanjh@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】近年, LSI 内光配線の実現に向けてシリコンフォトニクスが活発に研究されており, その中でも高性能かつ小型な Si 光変調器の開発が急務されている. 現在報告されている素子構造の中で, MOS 型光変調器が高誘電率 (high-k) 材料を用いた等価的ゲート絶縁膜厚 (Equivalent oxide thickness; EOT) のスケーリングにより高い変調効率が期待される点から注目されている [1]. しかし, MOS 型光変調器の電極として一般的に用いられる poly-Si の形成には高温処理が必要で, high-k 絶縁膜の低い熱耐性により, 良好な MOS 構造の形成は容易ではない. 更に, poly-Si の結晶性が低いため, 導波損の増加や高抵抗による RC 応答の劣化などが懸念される. 上記の問題を解決するため, 我々は high-k 絶縁膜を用いた基板貼り合せ法による MOS 型光変調器を実現することを目指している. 貼り合せを用いることで, Poly-Si 形成による high-k 絶縁膜界面の劣化を回避し, Poly-Si メサを単結晶 Si に置き換えることが可能になる. しかし, 貼り合せ法によって作製された基板は熱処理によるボイド発生が懸念される. そこで, 我々は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HfO<sub>2</sub> を貼り合せ界面とすることで, 700°C の熱処理まで耐えられる貼り合せ基板の作製に成功したので, 報告する.

【実験結果】図 1 に基板貼り合せ法を用いた MOS 型光変調器の模式図を示す. 図 2 に SOI を用いた基板貼り合せ法のプロセス図を示す. 基板前処理後, SOI 基板上に ALD 法で high-k 絶縁膜である HfO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を堆積する. その後, 700°C で 20 分間, 真空熱処理を行ってから, 表面を超音波洗浄し, high-k 絶縁膜を介して SOI 基板同士を大気中で貼り合わせる. 真空中で加熱・加圧した後, 導波路メサとなる側の SOI 基板の支持 Si 基板を研磨と TMAH 溶液によるエッチングで除去する. 最後に上部の SiO<sub>2</sub> を BHF でエッチングして, 貼り合せプロセスを完了する. 作製した貼り合せ基板の熱耐性を調べるため, 熱処理をした後, ボイドの発生量を調べた. 貼り合せ界面による違いを議論するため, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HfO<sub>2</sub> 膜に加えて, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 単層膜, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/HfO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 多層膜も各酸化膜の厚さを変えながら堆積した. HfO<sub>2</sub> 単層は貼り合せ強度が弱く貼り合せ出来なかったため, 除外した. 図 3(a)および(b)に 4.5 nm の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 単層構造で貼り合せた基板と 0.5-nm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/2.0-nm HfO<sub>2</sub> の多層構

造で貼り合せた基板を, 700°C で 1 分間熱処理した後の顕微鏡写真を示す. 両者の比較から, HfO<sub>2</sub> を挿入し, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の膜厚を減らした方が, ボイドの発生量を劇的に抑制出来ることが分かる. その効果を定量的に議論するため, HfO<sub>2</sub> の膜厚を固定し Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の膜厚を変化させて貼り合せた基板の 700°C 熱処理後におけるボイド発生量を図 4 に示す. この結果から, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の総膜厚が減少するにつれて, ボイドの密度が減少することが分かる. 最終的に 0.5-nm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/2.0-nm HfO<sub>2</sub> を用いて貼り合わせることで, 700°C で熱処理しても発生するボイドの密度を 2 x 10<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> まで抑制することに成功した.

【謝辞】本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「フォトニクス・エレクトロニクス融合システム基盤技術開発(PECST)」の助成により実施した.

【参考文献】[1] M. Takenaka and S. Takagi, IEEE J. Quantum Electron., vol. 48, no. 1, pp. 8–16, 2012.

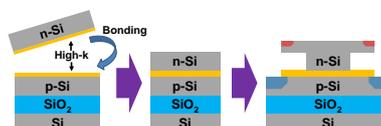


図1. 基板貼り合せを用いたMOS型光変調器の模式図.

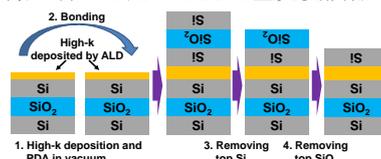


図2. 基板貼り合せ法のプロセス図.



図3. (a) 4.5-nm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) 0.5-nm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/2.0-nm HfO<sub>2</sub> で貼り合せた基板の700°C加熱後の顕微鏡写真.

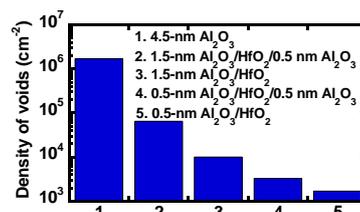


図4. 酸化膜構造による貼り合せ基板上の700°C加熱後のボイド密度.