

# Si ナノ密着層を利用した LiNbO<sub>3</sub> と SiO<sub>2</sub> の常温ウエハ接合と 低損失 LNOI 光導波路への応用

## Room-temperature wafer bonding of LiNbO<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> using Si nanoadhesive layer for low-loss LNOI waveguide application

九州大学, °多喜川 良, 浅野種正

Kyushu Univ., °Ryo Takigawa, Tanemasa Asano

E-mail: takigawa@ed.kyushu-u.ac.jp

### 1. はじめに

優れた電気光学・非線形光学・光音響効果などを有する LiNbO<sub>3</sub> (以下 LN と略す) 結晶は、超高速光変調器や波長変換素子など導波路型デバイスとして幅広く利用されている。近年、この結晶内に強く光を閉じ込めることを可能とする LN on Insulator (LNOI) 光導波路への注目度が高く、従来の Ti 拡散光導波路型 LN 光デバイス的大幅な小型・高効率・低消費電力化がこれにより期待されている。そのため、この LNOI 導波路型デバイスの Si プラットフォーム上への集積化は次世代の高集積・高密度・多機能光マイクロシステムに向けて魅力的である。我々は、LNOI/Si 構造の実現に向けて、LN と Si 熱酸化膜(SiO<sub>2</sub>)の直接接合技術の開発を行っている。

熱膨張係数が一桁異なる LN と SiO<sub>2</sub>/Si 接合の場合、従来の高温プロセスが適用できず 100 °C 以下の低温プロセスが求められる。比較的低温接合技術としてプラズマアシストボンディングの開発が進んでいるが、強固な接合強度の確保のためには一般に 200 °C 以上の熱処理を要する[1]。我々は、これまで金属ナノ密着層を利用した表面活性化接合法により LN と SiO<sub>2</sub> の常温接合に成功している[2]。しかし、LNOI 光導波路応用では、この金属密着層の光吸収が伝搬光の大きな損失を引き起こしてしまう。そこで、低損失化に向けて金属以外の吸収の少ない密着材を選定する必要がある。

本研究では、広い波長領域で透明である Si に着目し密着材として利用することで LN と SiO<sub>2</sub> の常温接合を試みる。Si 上に LNOI 光導波路の作製を行い、導波路応用として本常温接合技術の適用性を調査する。

### 2. 実験結果

本研究では、Si ナノ密着層を利用した常温接合により、LN と熱酸化膜付 Si の 3 インチウエハ接合を行った。超高真空下で LN と Si 熱酸化膜の接合表面にナノ Si 密着層を堆積させた後、荷重を加え常温接合を行った。接合界面の透過型電子顕微鏡 (TEM) による観察結果を図 1 に示す。Si ナノ密着層内に存在すると考えられるイニシャルの接合界面は明確には見られない。ナノレベルでボイドが見られず原子レベルの密着が確認できる。その後、機械研磨により LN ウエハの厚みを 5 μm 以下に薄片化を試みたところウエハ全面で剥がれることなくほぼ均一な LN 膜厚が得られた。これはウエハ全面で極めて強固な接合が達成されていることを示している。これにより、薄膜 LNOI/Si ハイブリッドウエハの作製に成功した。

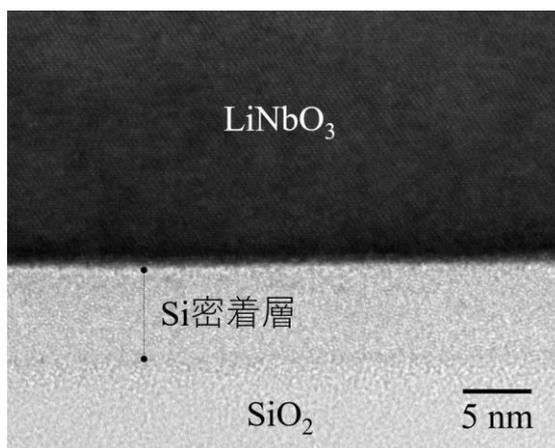


図 1. LN と SiO<sub>2</sub> の常温接合界面

次に、ダイシングによるリッジ型導波路加工で Si 上に LNOI 直線光導波路 (リッジ幅: 約 7 μm) の作製を行った。この LNOI リッジ型光導波路の伝搬損失をカットバック法により評価したところ約 2 dB/cm と低損失光伝搬が確認できた (波長: 1550 nm)。これまでの金属ナノ密着 (Fe) 層を介した常温接合により作製された LNOI 光導波路の伝搬損失と比べ、大幅な低損失化に成功した。

### 3. まとめ

Si ナノ密着層を利用し、LN と Si 熱酸化膜の常温接合を試みたところ 5 μm 以下の薄片化に耐え得る強固な接合が達成された。TEM 観察結果より接合界面にはボイドは見られず原子レベルの密着が確認できた。Si 上 LNOI 導波路を作製し、伝搬損失の評価を行ったところ、約 2 dB/cm と低損失な光伝搬が確認できた。これらの結果は、本常温接合技術が低損失光導波路作製技術として有効であることを示している。発表当日は、密着層が接合特性や光伝搬特性に及ぼす影響について詳細な議論をする予定である。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17H04925 の助成を受けたものであり、深くお礼申し上げる。

### 参考文献

- [1] D. Pasquariello et. al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 8 (2002) 118.
- [2] R. Takigawa et. al., Jpn. J. Appl. Phys., 57 (2018) 06HJ12.