表面活性化と低温熱処理を併用した $LiNbO_3$ ウェハと SiO_2/Si ウェハの直接接合

Surface activated wafer bonding of $LiNbO_3$ and SiO_2 with low-temperature annealing

九大シス情 [1]，産総研 [2]，東大工 [3]　多喜川良 [1]，日暮栄治 [2,3]，浅野種正 [1]，
Kyushu Univ. [1], AIST [2], The Univ. of Tokyo [3]
°Ryo Takigawa[1], Eiji Higurashi[2,3], Tanemasa Asano[1]
E-mail: takigawa@ed.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

近年フォトニクス分野において大きな電気光学効果、非線形光学効果等を有するニオブ酸リチウム（以下 LN と略す）薄膜からなる LN on Insulator (LNOI) の注目度が高い．これは、LNOI を微細加工することで得られる強い光閉じ込め導波路が従来の LN 光デバイスの大幅な小型・高効率・低消費電力化をもたらすからである．この LNOI 光導波路を Si プラットフォーム上へ集積することができれば、次世代の小型・高機能光デバイスの実現が期待できる．我々は、LNOI/Si 構造の実現に向けて、LN と SiO_2/Si の直接接合技術の開発を行ってきた．

熱膨張係数が一桁異なる LN と Si 接合の場合、従来の高温プロセスが適用できない．低温プロセスとして開発が進むプラズマアシストボンディングを用いた場合、強固な接合を得るためには一般に 200 ℃以上の熱処理を要する[1]．そこで、本研究では材料によっては常温で強固な接合が得られる表面活性化接合法[2]に着目する．これを LN と SiO_2 接合に適用し、研磨加工による薄膜化に耐え得る LN と SiO_2/Si の強固な接合強度の達成とともに低温熱処理の有効性について検証する．

2. 実験結果

接合用サンプルとして 3 インチ LN ウエハ（z cut）と熱酸化が施された 3 インチ Si ウエハ（酸化膜厚: 1 μm）を利用した．接合強度測定には、ウエハ接合後サンプルに 1mm × 1 mm ダイシング加工を行うことで加工時の切削応力に耐え得るかで評価した．先ず、超高真空中下(< 1 × 10^{-5} Pa)で LN と SiO_2 表面にアルゴンイオンビーム照射することで活性化させる．その後、LN と SiO_2 の常温直接接合を行った（図 1）．この時の接合強度は弱く、ダイシング加工に耐えられず接合界面で剥離してしまった．

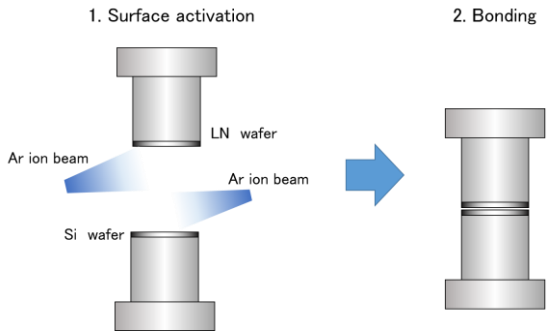

Fig. 1. Surface Activated Bonding using Ar ion beam bombardment

そこで、常温接合後 100 ℃の熱処理を行った結果．大きなクラックは見られずウエハレベル接合に成功した．ダイシング加工の結果、接合界面での剥離は見られず完全な 1 mm × 1 mm ダイシングにも成功した．接合界面の断面 SEM 写真を図 2 に示す．LN と SiO_2 の接合界面にはボイドやクラックは見られず密着が確認できる．その後、LN ウエハ(厚さ:500 μm) を 5 μm 以下の薄膜にするため機械的な研磨加工を行ったところ 3 インチウエハ全面で剥がれることなくほぼ均一な膜厚が得られた．これはウエハ全面で強固な接合が達成されていることを示す．また、熱処理の温度を 150 ℃まで上げると大きな熱膨張係数差から生じる残留応力によりクラックが入ってしまったことから 100 ℃程度までしか上げれないことが分かる．

3. まとめ

表面活性化接合法を LN と SiO_2 接合に適用した場合、常温接合は困難であったが低温熱処理(100 ℃)を施すことで 1 mm × 1 mm ダイシング加工に耐え得る強固な接合強度が得られることを示した．低温であるゆえ、接合体にクラックも発生しなかった．また、ウエハ全面で強固な接合が得られたことから 5 μm 以下の膜厚まで LN ウエハの薄膜化が可能となった．

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る．ここに深くお礼申し上げる．

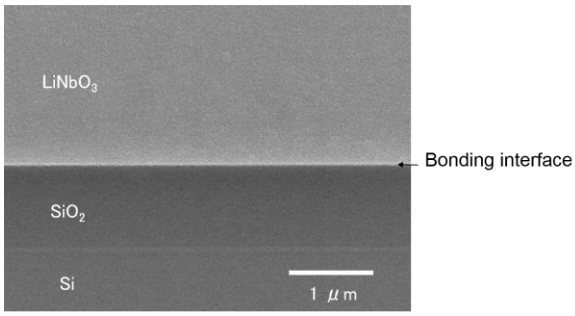

Fig. 2 SEM image of the bonding interface

参考論文
[1]D. Pasquariello et. al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., **8** (2002) 118.
[2] M. M. R. Howlader et. al., Appl. Phys. Lett., **89** (2006) 31914.