

内部集光型レーザダイシングを用いた TEM 試料用小片の切り出し手法

[研究代表者] 岩田博之 (工学部電気学科)

[共同研究者] 高木 誠 (工学部機械学科)

[共同研究者] 坂 公恭 (総合技術研究所)

研究成果の概要

イオンミリング法は FIB 法が持つ局所選択性には劣るが、良質な広い観察領域を得る本質的に優れた方法である。しかし最終工程のミリングまでには、幾多の切断/研磨作業が必要であり、高い習熟度が必要であった。これら作業を画期的に減らした手法にイオンスライサー法があり [1, 2]、前処理工程が減り利便性が増した。必要な作業は唯一、 $2.8\text{mm}(\pm 0.1\text{mm}) \times 0.5\text{mm}(\pm 0.4\text{mm}) \times 100\ \mu\text{m}(\pm 10\ \mu\text{m})$ の短冊状小片の切り出し/研磨作業が残っていた。

本報告はこの切断砥石による短冊切り出しと $100\ \mu\text{m}$ 厚への研磨作業を内部集光型パルスレーザ加工(ステルスダイシング[3, 4])に置き換え、高アスペクト比にかかわらず直接的に短冊小片を容易に作製できる事を示す。特に半導体ウェハに最適で、時短、歩留まり、精度、自動化、省資源、大量製作、ドライ、非接触などの特徴を持つ。必要な作業は試料台への試料貼付けのみと言って過言でない。

研究分野：透過型電子顕微鏡，レーザプロセッシング，顕微鏡試料作製

キーワード：TEM，STEM，顕微鏡試料作製，イオンスライサー，ステルスダイシング，ポイド，転位

1. 研究開始当初の背景

半導体・セラミックス・金属などバルク試料から透過型電子顕微鏡 (TEM) 試料を作製する代表的手法に、イオンミリング法と FIB (Focused Ion Beam) 法がある。

FIB 法は数 μm 以下の領域をピンポイントで選択できることに最大の優位性がある。イオンミリング法は、局所選択性は FIB 方に劣るが、高品質 (試料のイオン損傷が少ない) な観察領域を広く得ることができ本質的に優れた方法である。しかし、最終工程のイオンミリング加工までには、幾多の切断/研磨作業が必要であり、高い習熟度が必要であった。

これら作業を画期的に減らす手法にイオンスライサー法があり [1, 2]、必要な作業は唯一、 $2.8\text{mm}(\pm 0.1\text{mm})$

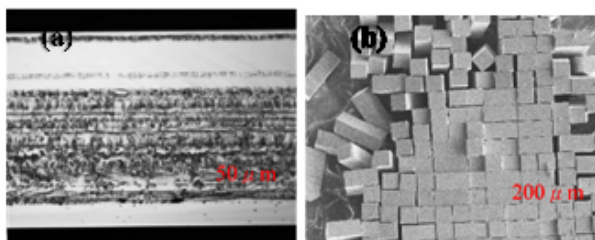


図 3 (a) $300\ \mu\text{m}$ 厚のシリコンウェハの切断面。深さ方向に多数回のレーザ損傷層を形成している (光学顕微鏡像)。 (b) $300\ \mu\text{m}$ 厚ウェハを $100\ \mu\text{m}$ 間隔で縦横にレーザ走査し、多数のブロックを形成した例 (SEM 像)。

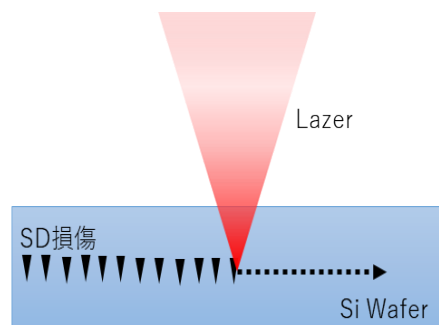


図 1 内部集光型レーザダイシングの概念図

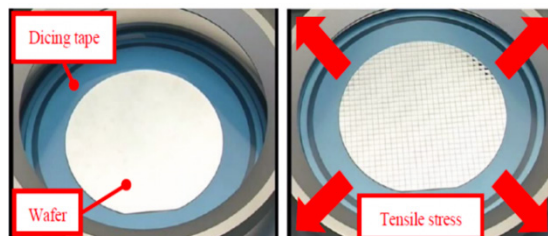


図 2 テープエキスパンドによる、シリコンウェハからのチップ分断の前後

$\times 0.5\text{mm}(\pm 0.4\text{mm}) \times 100\ \mu\text{m}(\pm 10\ \mu\text{m})$ の短冊状小片の切り出し/研磨作業が残っていた。

イオンスライサーへ持ち込む $2.8\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 100\ \mu\text{m}$

の短冊小片の典型サイズの根拠は、長辺の 2.8mm は TEM に導入可能な最大長辺に由来し、短辺の 0.5mm はウェハ等の原材料の厚さに由来する(可変可能)。仕上げ厚さ 100 μm は、厚さ 30 μm のマスクングベルトを介してアルゴンイオンビーム照射により薄片化する(図 2(b)参照)イオンスライサー法の加工原理の根本に由来する。この厚さ精度が試料の出来具合と作業効率に直結し[2]、高い精度 ($\pm 10 \mu\text{m}$) が要求される。また、照射側の表面性状が滑らかであることも試料の仕上がりに直結する。

2. 研究の目的

従来、短冊試料小片の切り出しは回転式の切断砥石により切り出し後、ダイヤモンド砥粒を用いた研磨により 100 μm 厚さへ薄片化していく必要があった。これら作業をレーザ加工技術で代替することを試み、試料作製の効率と精度の向上を試みた。

レーザ加工法としてステルスダイシング (SD) 法を用いた[3]。SD は一般的なレーザ加工原理である表面アブレーションとは異なり、ウェハ内部にレーザを集光させる(図 1 参照)ため、ウェハ表層部に損傷を与えることなく、ウェハ内部に応力を誘起させることができる。また、透過性のパルスレーザを水平方向にスキャンすることによりウェハ内部に応力集中点の列を形成する。その後、ウェハにレーザ走査線と垂直な方向に引張応力を加える(図 2 参照)ことにより、応力集中点を起点として亀裂がウェハ上下に進展し、ウェハを割断することができる[3]。

3. 実験方法

近赤外パルスレーザ (パルス幅 90ns, エネルギー 3.3 μJ) を、厚さ 0.4mm の Si (001) ウェハの上部から <100> 方向にレーザ掃引した。掃引間隔は X 方向に 2.8mm, Y 方向は 100 μm である。

4. 研究成果

図 3 はレーザ掃引後の Si ウェハである。Y 方向の間隔 100 μm 対し厚さは 4 倍の 400 μm の高アスペクト比にかかわらず、精度高い大量の自立短冊が形成できた。短冊の側面にはレーザ痕が見受けられるが、その痕跡はイオンビームにより研磨され透過電子顕微鏡試料の観察

領域には残留しない事が確認された(図 4)。本手法を用いれば必要な手作業は試料台への試料貼付けのみとなり、作業効率が飛躍的に向上することを確認した。

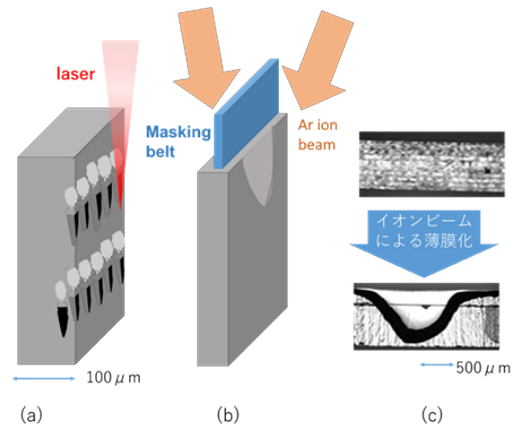


図 4 2.8mm×100 μm の短冊試料にイオンスライサー加工を施す前後の側面の加工の様子。(a)側面に照射痕が残るイオンビーム加工前の様子。(b)イオンビームにより薄片化された短冊試料、照射痕は除去される。(c)イオンビーム加工前後の TEM 試料の光学顕微鏡像。上図は(a)の試料、下図は(b)の試料に相当する。下図の中央にある扇状白色部が TEM 観察可能な薄膜領域。

謝辞

本研究は浜松ホトニクス株式会社河口大祐氏の協力により実施した。名古屋大学に設置の超高压透過電子顕微鏡の利用に関してはナノテクノロジープラットホーム事業の支援により実施した。一部は科研費 20K05066, 22K04783 の助成を受けた。

参考文献

- [1] <https://www.jeol.co.jp/applications/detail/646.htm>
- [2] 川原尚, JEOL 試料作製セミナー, 東京, 1-55 (2011)
- [3] https://sd.hamamatsu.com/jp/ja/SD_outline/index.html

5. 本研究に関する報告

- (1) 岩田, 高木, 坂, 顕微鏡 56 (3), 139-142, (2021)