

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05736

研究課題名(和文) 低カーフロス・薄型太陽電池Siウエハを実現する触媒援用化学的スライシングの開発

研究課題名(英文) Development of chemical slicing method for Photovoltaic materials with low kerf-loss and thin wafer thickness

研究代表者

村田 順二 (Murata, Junji)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：70531474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：太陽電池向け材料であるシリコン等のダメージフリー切断加工を目的とした、新たな砥粒フリースライシング法の開発を行った。本加工法は、化学液を加工物に供給しながらワイヤで擦過を行うものであり、従来技術よりも切断幅(カーフロス)を低減させることができる。本研究では、開発技術における加工速度の向上、マルチワイヤ加工、加工物サイズのスケールアップ、フッ酸フリー加工の検討を行った。その結果、従来の機械加工法に比べて、加工速度に課題がみられたものの、より小さなカーフロスでマルチ加工を施すことが可能となった。毒性の高いフッ酸を使用しない加工法として、光ファイバを利用したエッチング法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Novel abrasive free slicing method for photovoltaic materials has been developed to achieve damage free wafer surface with a low kerf loss. In this method, a chemical etchant is supplied to the material and the material surface is abraded by a wire tool. In this research, studies to improve a material removal rate, to achieve multi-wire processing, to scale up the material size, and to reduce the use of HF solution has been conducted. Although the material removal rate remain an issue, the multi-wire processing with lower kerf loss has been achieved, compared with the conventional mechanical machining. Further, an etching method employing an UV-assisted etching with optical fiber has been developed without using HF solution.

研究分野：精密加工

キーワード：切断加工 エッチング 太陽電池

1. 研究開始当初の背景

半導体材料の切断加工にはスライシングとダイシングが挙げられる。前者はワイヤソーによりインゴットからウェハを切り出す工程であり、後者はダイシングブレードによりウェハからチップを切り出す工程である。いずれも現在では機械的な切断加工が主流となっているが、材料に対するダメージの発生が課題となっている。ウェハ表面に生じる機械的なダメージはデバイス性能に悪影響を及ぼすため、後工程において除去する必要が生じる。また、切断時に発生するクラックは基板の破損に繋がり、製品歩留まりに悪影響を及ぼす。また、対象となる材料は太陽電池用 Si にとどまらず、パワー半導体用 SiC や LED および次世代太陽電池用材料としても注目されている加工物などの難加工材料への対応も必要となってきている。これらの材料に対し、機械的ダメージを発生させない切断加工法が要求されている。

2. 研究の目的

本研究では、Si 等のスライシング技術として既存機械加工技術を代替しうる新たな化学的スライシング法の開発を行う。本加工法は加工物に対して化学液（エッチャント）を供給し、同時にワイヤで擦過することによって加工を行う（図 1）。提案加工技術の実用化に向けた課題として、加工速度の向上や、複数ウェハの同時切出し（マルチワイヤ化）、および大型インゴットへの対応などが挙げられる。

そこで本研究では、これらの課題について、下記のような研究開発を実施した。

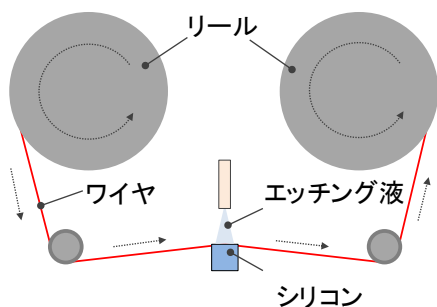


図 1 本加工法の概念図

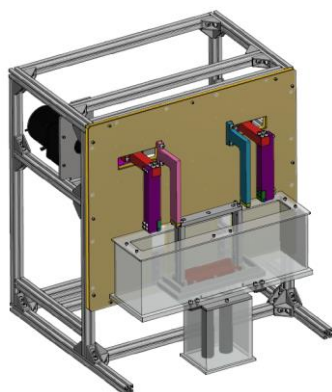


図 2 加工装置の模式図

(1) 加工速度の向上：本研究項目では、加工液の組成や供給方法、加工条件などの諸因子が加工速度に与える影響を評価・最適化することで、加工速度の向上を図った。

(2) マルチワイヤ加工：本研究項目では、これまでの 1 本のワイヤによるシングルワイヤ加工から、複数のワイヤによる加工を行うことによりマルチ加工を図った。

(3) 加工物サイズへのスケールアップ：本研究項目では工作物のスケールアップ試験を実施し、インゴット大型化によって発生する課題を検討した。

(4) フッ酸フリー加工への展開：本研究項目では、エッチャントに使用するフッ酸の低減を行う。フッ酸はさきわめて腐食性が高く、人体や加工装置への影響が多いため、フッ酸を使用しないスライシング法を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、フッ硝酸液への耐食性を有する加工装置（図 2）を使用して、加工物へエッチャントを供給しながらワイヤ工具によって擦過を行う。種々の加工条件が加工特性に及ぼす影響を評価した。加工溝の形状およびカーフスは光学顕微鏡によって評価した。加工速度は加工溝の深さを光学顕微鏡によって評価し、それを加工時間で除することで算出した。

4. 研究成果

4. 1 マルチワイヤ切断特性

直径 160 μm の NiCr ワイヤを 2 本用い、同時に Si への溝入れ加工を行った。その際の Si インゴットに形成された加工溝形状を図 3 に示す。加工溝の幅（カーフス）はワイヤの直径に対して 8 μm 程度大きいカーフス

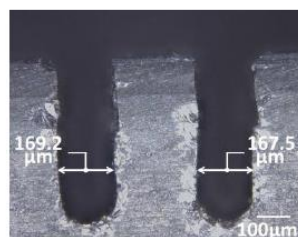


図 3 マルチワイヤ加工による溝形状

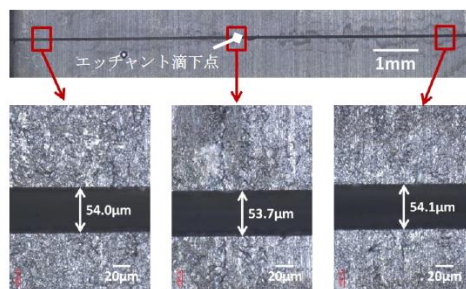


図 4 加工溝入口部における溝形状

スでの加工が行われていることがわかる。また、加工溝の入り口においてもカーブロスの広がりは見られないことがわかった。ダメージレスなエッチングを利用した加工方法において、深さ方向に一定のカーブロス加工が行えていることから、薄肉のウェハの切り出しが可能であると考えられる。

4. 2 加工物サイズの影響

これまでの加工実験では、数 mm 角程度の Si インゴットを対象としていたが、本実験では数十 mm 角のインゴットを加工することにより、加工特性への影響を評価した。直径 50 μm のシングルワイヤを用いて加工を行い、溝上部より光学顕微鏡観察を行った結果を図 4 に示す。加工溝の入り口におけるカーブロスはいずれも 54 μm 程度であることがわかる。観察箇所によってカーブロスが変化することはほぼなく、また、エッチャントの供給箇所においても、カーブロスの拡大は見られなかった。上記のことから、大型の工作物であっても、カーブロスが均一な加工が可能であることがわかった。

4. 3 加工速度の向上

本加工法においては、エッチャントの組成を変化させることで加工速度が変化する。具体的にはフッ酸濃度を高めることで加工速度が向上することが確認されている。しかし、フッ酸濃度を増加させると、加工溝の入り口付近でカーブロスが大きくなり、アスペクト比の小さい、テーパ状の溝形状となることが確認された。そこで、エッチャントの供給方法を見直し、従来の加工物への供給から、ワイヤに対して供給する方式を採用した。しかし、金属ワイヤでは加工液の保持性が悪く、加工が進捗しなかったため、ポリエチレン (PE) 細糸を撚り合わせたワイヤを採用した。その際の加工溝形状を図 5 に示す。使用した PE ワイヤの直径が約 400 μm と大きいため、カーブロスも金属ワイヤ使用時よりも大きくなっているが、溝入り口付近においてもカーブロスの拡大は見られず、アスペクト比の高い溝形状が得られた。また、高濃度フッ酸のエッチャントを使用することにより、100 $\mu\text{m}/\text{min}$ 程度と低濃度フッ酸時と比較して 20



図 5 PE ワイヤによる加工溝形状

倍程度の加工速度が得られた。

4. 4 フッ酸フリー加工への展開

フッ酸フリー加工においては、半導体の光電気化学エッチングをベースとした加工法を検討した。これは、適切な水溶液中において半導体表面にそのバンドギャップ以上のエネルギーを有する光を照射した際に生じる化学的な加工法である。光電気化学エッチングを切断加工に応用すべく、高アスペクト比の加工を実現するため、光ファイバ/電極アレイを考案した。これは半導体表面に光照射を行う光ファイバと、電解を行うためのワイヤ電極を、シート状に一体化させたものである。小径の光ファイバを用いることにより、材料表面上の加工を施したい部分にのみ光照射を限定することができる。これにより、高アスペクト比の加工が可能となると考えた。光ファイバ/電極アレイの作製には光硬化性樹脂を利用した。まず、光ファイバと電極ワイヤを所定の本数、基材上に交互となるよう等間隔に配列する。なお、光ファイバはコア径が 50 μm 、クラッド径が 60 μm の UV 透過石英ファイバを用い、電極ワイヤには直径 80 μm の Pt ワイヤを用いた。次に、基材上に配列されたファイバと電極に対し、液状の光硬化性樹脂を滴下する。その後、充填された

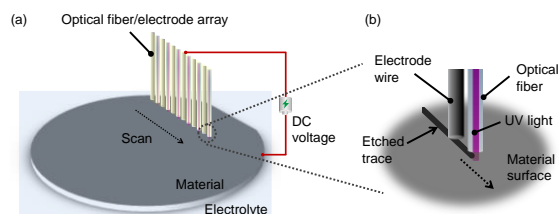


図 6 光電解エッチングを利用したスライシングの概念図

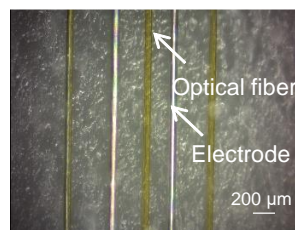


図 7 光ファイバ/電極アレイシートの光学顕微鏡像

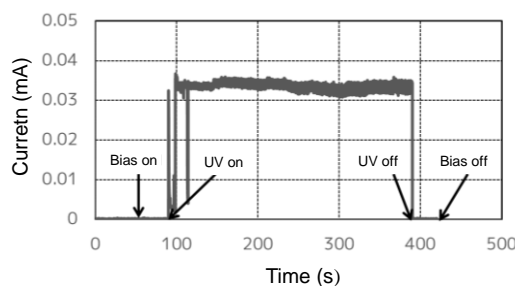


図 8 工作物—電極間の光電解電流

樹脂に対し、水銀キセノンランプを利用し紫外光を照射することにより、樹脂を硬化させる。この段階では硬化物は光ファイバおよび電極ワイヤに対して、厚みが大きいいため、これをペーパー研磨により薄型化を行う。さらに、光ファイバの射出端も同様にペーパー研磨を施すことにより、作製される。

図 7 に作製した光ファイバ/電極アレイを示す。光ファイバと電極が紫外線硬化樹脂により一体化され、それぞれがおおよそ 200 μm ピッチで配列されていることがわかる。

図 8 に電極-加工物ウェハ間の電解電流の時間変化を示す。電流の測定開始後 60 s 後に電圧 (5 V) を印加し、その 30 s 後に紫外光を照射した。なお、光源には水銀キセノンランプを使用した。電圧印加後には電解電流に変化は見られないが、光照射開始後に大幅に電流が増加していることがわかる。これは、光照射によって価電子帯の電子が励起され、伝導帯に遷移したためである。光照射なしでは、電気伝導を担うキャリアが不足しているため、電圧を印加しても電解電流は発生しない。これにより、加工物表面の光照射された部分のみがエッチングされることが示唆された。

印加電圧を 5 V とし 60 分間加工を行った後の加工物表面を、触針式粗さ計により評価した断面曲線を図 9 に示す。図(a)は光照射を行わずに加工を行った場合であるが、加工物表面には加工痕がみられず平坦であることがわかる。それに対し、光照射を行った場合(図(b))においては、明確な加工痕が確認された。加工深さは約 25 μm であり、加工痕幅は半値幅で約 70 μm であった。

上記の結果から、光ファイバ/電極アレイを使用し、光照射を局所化することで、加工が実現できることが確認された。本実験では、加工物ウェハには往復運動を与えていないため、加工痕は光ファイバ直下のスポット痕となったが、今後ウェハとアレイに相対運動を付与することで、直線的な溝状の加工痕が

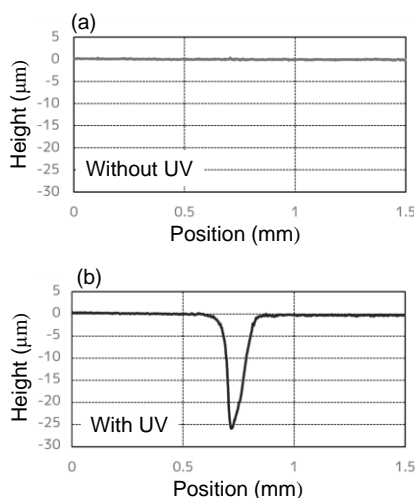


図 9 加工表面の触針式粗さ計による断面曲線。(a) 光照射なし、(b)光照射あり。

形成できるものと期待される。また、溶液組成や電圧印加条件を最適化することにより、加工速度の向上が可能となれば、加工物基板の切断への応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 村田順二, ウェットエッチングを利用した Si の砥粒フリースライシング, 光アライアンス, 査読無, 29 巻 5 号, pp. 44-47 (2018).
- ② 村田順二, ウェットエッチングを利用した Si の砥粒フリースライシング, 精密工学会誌, 査読無, 83 巻 9 号, pp. 837-840 (2017).DOI:<https://doi.org/10.2493/jjspe.83.837>
- ③ J. Murata, K. Yodogawa, K. Ban, Polishing-pad-free electrochemical mechanical polishing of single-crystalline SiC surfaces using polyurethane-CeO₂ core-shell particles, International Journal of Machine tools and Manufacture, 査読有, vol. 114, pp. 1-7 (2017)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 村田順二他, 光ファイバ/電極アレイを利用した光電気化学的切断法の開発, 精密工学会 2017 年度春季大会, 2017)
- ② Junji Murata, Kousuke Funada, A Feasibility Study of a Chemical Slicing Method for Semiconductor Wafers Using Photoelectrochemical Etching with an optical - fiber - electrode array sheet, International symposium in advances of abrasive technology, 2017 年
- ③ 村田順二, 化学エッチングを利用した半導体結晶の切断技術, 日本学術振興会結晶加工と評価技術第 145 委員会 (招待講演), 2016 年
- ④ 村田順二, 淀川恒史, コアシェル構造粒子を用いた SiC 基板の電解複合 CMP 技術の開発, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年

[その他]

ホームページ等

<http://www.mec.kindai.ac.jp/mech/lab/murata/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

村田 順二 (MURATA, Junji)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号: 70531474