

研究成果報告書

研 究 題 目		太陽電池多結晶シリコンインゴットのマルチワイヤ放電スライシング法の高性能化	実 施 年 度
			2013 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学 大学院自然科学研究科	
	氏 名	岡 田 晃 印	

1. 研究の目的・背景

近年、太陽電池や半導体に使用される単結晶、および多結晶シリコンの生産量はその需要増大に伴い年々増加している。また、小型低損失の半導体デバイス実現のため SiC も注目されている。いずれも低価格化・安定供給が望まれるため、ひとつのインゴットから多くのウエハを作製する高能率スライシング法が必要とされている。従来スライシングにはマルチワイヤソー法が用いられている。これはワイヤを走行させ砥粒と加工液の混合物であるスラリを切断部に供給し、砥粒とインゴットの機械的接触によって切断する方法である。ワイヤや加工面には大きな力が作用するため、切断表面にクラックが発生し、切断幅やウエハ厚さの減少にも限界がある。また、スラリの処理の問題も抱えている。

そこで、我々は非接触での加工が可能であり、加工液として脱イオン水を用いるワイヤ放電によるスライシングについて研究している。これまでに1本のワイヤに複数個の放電回路を接続して一度に複数枚のウエハを加工できるマルチ放電スライシング装置を開発し、これを用いてシリコンインゴットのスライシングが可能であることを明らかにしてきた。これらの成果を更に展開し、従来のマルチワイヤソーよりも高性能なマルチ放電スライシング法を確立することを目的とする。このためには、更なるカーフロス低減のためのワイヤの細線化の検討が必要である。しかし、ワイヤ細線化に伴いワイヤ断線の危険性が高くなり、ワイヤには大きなワイヤテンションを負荷できない。大きなワイヤテンションを負荷できなければ加工中のワイヤの振動増大にもつながり、加工精度の問題が懸念される。

これらの問題を解決するため、本試験研究では以下の3つの項目について検討した。

I. 小径ワイヤによる放電スライシング特性の解明

ワイヤ小径化による放電スライシング特性を把握することが必要であるため、従来用いていた直径180ミクロンよりも小さい120ミクロンのワイヤを用いた放電スライシング特性、および放電加工条件が切断速度やカーフロスに及ぼす影響を解明した。

II. トラック断面形状ワイヤの走行挙動の解明とスライシング性能評価

大きいワイヤテンション負荷を可能とする一つの手法として、ワイヤ断面をトラック形状とすることが挙げられる。これは、ワイヤの幅を維持したまま加工方向に対して長さを大きくすることで断面積を大きくし高いテンションに耐えることができ、結果的にワイヤ挙動を安定できると考えられる。これについて検討した。

III. 絶縁層被覆トラック形状ワイヤの製作とスライシング性能評価

ワイヤ側面での放電発生を抑制することもカーフロス低減に効果的である。そこで、ワイヤ側面を絶縁層で被覆したワイヤを作成し、それによるスライシング性能を評価した。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

I. 小径ワイヤによる放電スライシング特性の解明

インゴットのスライシングにおける切断幅（カーフロス）はワイヤ径とギャップによって決定されるが、ワイヤの径を細線化することが最も効果的である。これまでは直径 $180\mu\text{m}$ のワイヤを使用していたため、片側加工ギャップ $25\mu\text{m}$ 程度で $230\mu\text{m}$ を超えるカーフロスとなっていた。ここでは $120\mu\text{m}$ ワイヤを利用し、さらに加工条件の最適化により加工ギャップの減少も含めてカーフロスの低減について検討を行った。電気加工条件や加工液の比抵抗などを加工の難しい SiC に対し検討した結果、従来スライシング速度、切断面粗さと同等で（図 1）、かつ、片側加工ギャップ $10\mu\text{m}$ 程度で $140\mu\text{m}$ 程度のカーフロスを達成することができた（図 2）。また多結晶シリコンインゴットでは $80\mu\text{m}$ ワイヤで約 $100\mu\text{m}$ のカーフロスを達成することも可能となった（図 3）。

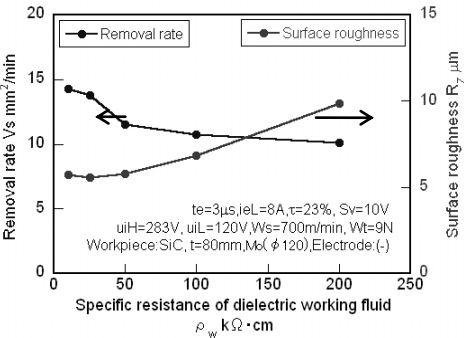


図 1 加工液比抵抗による切断性能の変化

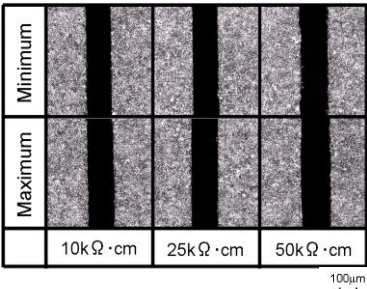


図 2 加工液比抵抗によるカーフロス変化

II. トラック断面形状ワイヤの走行挙動の解明とスライシング性能評価

より狭いカーフロスでも、より高いワイヤテンションを付与できるように、図 4 に示すようなトラック断面形状断面のワイヤ（W100 μm , L200 μm ）を提案，作成し検討を行った。ただしこれまでの加工装置のワイヤ送り機構ではその構造上，ワイヤのねじれや振動が頻発した。この場合のカーフロスは 200 μm 以上となった。ワイヤガイドローラの形状変更によるワイヤ走行の安定化やワイヤサイドサポート機構を加工部近傍に設けることで，ワイヤ挙動を安定させ，ねじれや振動の問題を最小限に抑制することが可能となった（図 5）。

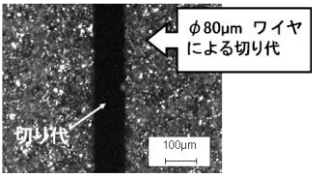


図 3 約 100 μm のカーフロス

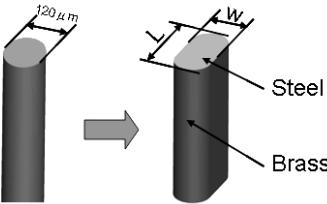


図 4 トラック断面形状ワイヤ

III. 絶縁層被覆トラック形状ワイヤの製作とスライシング性能評価

絶縁層をトラック断面形状電極の側面に設けるため（図 6），いくつかの樹脂材料，および様々な側面のみの被覆方法を実験的に検討した。側面のみに被覆する方法については，まず前面に樹脂をコーティングした後に，ワイヤ前後部分の被覆を機械的あるいは，化学的に除去する方法が最も構造が安定して得られること

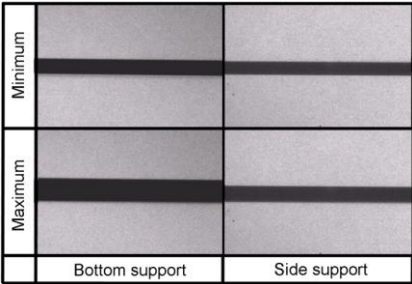


図 5 高速度観察による加工部のワイヤ挙動評価

が分かった。しかしながら、加工装置での長時間の走行を行うと、樹脂が剥離する問題が発生したため、最適な樹脂材料の選定に時間を要した。最終的にはフェノール樹脂を塗布することが長時間のワイヤ走行にも剥離などが生じることなく使用できることが明らかとなった（図 7）。今後はこのワイヤを用いてスライシング加工実験を進め、カーフロスの低減効果を検証していく。

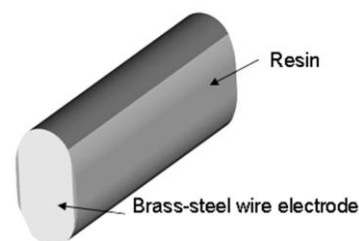


図 6 樹脂塗布トラック断面形状ワイヤ

○当初計画に対する達成度合

検討項目Ⅰ，Ⅱについては予定通り研究を遂行し、従来スライシングに匹敵するスライシング速度や加工面粗さの加工性能を維持した状態で、カーフロスの低減を達成することができた。しかしながら、検討項目Ⅲについては、特殊構造ワイヤの作成において問題が生じたためその対策に時間を要した。

そのため、カーフロス低減の検証実験を行えておらず、今後それらを早期に実施していく予定である。

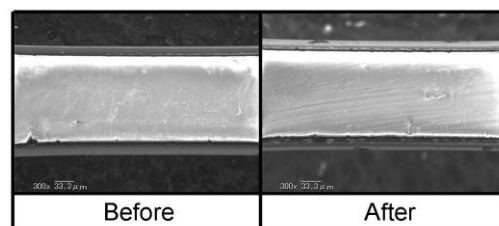


図 7 長時間走行前後の樹脂塗布トラック断面形状ワイヤ

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

以下に示す通りであり、申請額 200 万円に対し、各経費を比例縮小した予算でほぼ計画通りに経費を執行した。ただし、樹脂塗布トラック断面形状ワイヤを用いたスライシング面の性状の分析を予定していたが、その検証加工はまだ行えていないため分析は行っていない。また大学の予算管理費が 7 万円必要であった。

・各種治具・部品材料：45 万円に対し、	約 39 万円
・Mo ワイヤ，ブラスコーティングワイヤ：50 万円に対し、	約 45 万円
・トラック断面特殊ワイヤ：65 万円に対し、	約 30 万円
・研磨剤一式 10 万円に対し、	約 12 万円
・成分分析機器使用料 10 万円に対し、	0 円
・旅費 20 万円に対し、	約 7 万円
・予算管理費（オーバーヘッド） 0 円に対し、	7 万円

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

今後、本研究で提案した樹脂塗布トラック断面形状ワイヤを用いたスライシング実験を行い、高性能スライシングが可能であることを確認し、またスライシング面の性状の評価を進める。次いで本ワイヤを用いて一度に多数のウエハをスライシングするマルチスライシング化についての検討を進めていく。

現在でも、特殊ワイヤの製造、マルチスライシングに適した装置の改良、マルチ化のための放電電源と制御についてそれぞれ、ワイヤメーカ、装置メーカ、放電電源メーカとの連携によって本加工法の開発を進めているため、成果をすぐに実用化できる環境は整っている。順調に本研究が遂行されれば、5～10 年後の実用化を目指している。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

国際会議発表

Atsushi Kimura, Yasuhiro Okamoto, Akira Okada, Jun Ohya, Toshiyuki Yamauchi

Fundamental Study on Multi-wire EDM Slicing by Wire Electrode with Track-shaped Section,
Procedia CIRP (17th CIRP Conf. on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM), Vol.6
(2013) Pages 232–237.

学会発表

木村敦史，岡本康寛，岡田 晃，岳 志輝，大矢 純，山内俊之

トラック形状断面ワイヤ電極を用いたSiCの放電スライシングに関する試み
2013年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，（2013） pp. 117-118.