

研究成果報告書

研 究 題 目		ランダム制御方式を用いた グループ給電マルチワイヤ放電スライシング法	実 施 年 度
			平成30年度
代 表 研 究 者	所 属	国立大学法人岡山大学	
	氏 名	岡本 康寛	印
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p>持続的な社会の発展のためには、再生可能エネルギーを効率的に利用することが望まれる。再生可能エネルギーの代表格である太陽光発電にはシリコン(Si)が用いられている。効率的な電気エネルギーの利用には高温で安定した動作が可能な炭化ケイ素(SiC)、そして周波数特性に優れる窒化ガリウム(GaN)などの材料利用が期待されている。これらの材料はいずれも結晶として成長させた後、ウェハ形状を得るためのスライシング工程が必要である。我々はこのスライシング工程に適応することを目指して、加工液に脱イオン水のみを用いることから環境への負荷が少ないマルチワイヤ放電スライシング法を開発した。</p> <p>本マルチワイヤ放電スライシング法においても、一般的なワイヤ放電加工法と同様に工作物とワイヤ電極間の極間電圧を検出し、これが設定した目標基準電圧値より大きい場合には工作物を前進、小さい場合には工作物の移動を停止もしくは後退させるサーボ制御方式を用いて工作物の移動量を決定している。従来のマルチユニット給電方式では、放電電源に設けられた制限抵抗を用いて放電電流値を制御し、給電子と加工点間のワイヤ電極長さを最小化して加工することで加工部における放電電流を制御している。したがって、加工ワイヤ電極1本ごとに給電子が存在することから、極間電圧は加工部ごとに適確に検出して工作物移動量へフィードバックできる。一方、グループ給電方式は、給電子と放電電源は1つずつのみで、シンプルな装置構成によるマルチワイヤ放電スライシング法が期待できる。その反面、複数の加工部の極間電圧をまとめて検出することから極間電圧の検出感度の低下が懸念される。また、その検討過程において、工作物切断幅が加工制御性に大きく影響し、工作物切断幅によって切断溝幅が変化した。すなわち、グループ給電方式マルチワイヤ放電スライシングを半導体材料で主流となっている円形インゴットへ実用展開するためには、工作物切断幅の変化に適応して切断溝幅の均一性を実現できる工作物送りの手法が必要となる。加えて、極間の状態を適切に理解することが更なる加工制御性向上に重要である。</p> <p>そこで、グループ給電方式における工作物送り速度の制御方法、ならびに応答性向上を目指した検出制御方式の開発し、円形断面硬脆材料の次世代マルチワイヤ放電スライシング技術の実用化に対する基盤技術確立を目指して研究開発を行った。</p>			

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）

本研究ではグループ給電方式マルチワイヤ放電スライシング法により半導体材料である Si や SiC の加工を行った際における、放電電流値制御性と極間制御性の向上、ならびに円形断面工作物に対するウェア厚さ均一性の向上を目指して研究開発を行った。

まず、放電電流値の制御性を向上させるために、放電回路内の抵抗成分およびインダクタンスを考慮した放電電流値予測式を考えることにより、加工ワイヤ本数の増加によらず無負荷電圧対して得られる放電電流ピーク値を正確に予測することが可能となり、検討項目「(1) グループ給電方式における放電電流値制御性の向上」の内容をほぼ遂行できた。

次に、700m/min という非常に大きな速度で走行させている加工ワイヤ電極の振動に着目し、加工ワイヤ電極と工作物間の極間電圧の変動幅を議論した。図1に示すように、極間距離の目標値 SvADJ を大きくすると極間距離が広がることで極間電圧の変動幅（図中の矢印幅）が増大し、極間距離と極間電圧変動幅の大小関係に相関性が確認された。一般に放電加工における極間距離の制御には、極間電圧平均値の大小関係が用いられるが、その方法をグループ給電方式に適応した場合、複数の加工ワイヤ電極の内1本が短絡していたとしても平均値としての極間電圧に大きな変化は無いことから、その判別が課題であった。一方、極間電圧変動幅の変化をモニタすることで極間距離を把握できることから加工ワイヤ電極の短絡現象を事前に回避することが可能となった。すなわち、極間電圧のランダム性（加工ワイヤ電極の適切な振動）を適切に維持できるように制御する新たな極間距離の制御指標を見いだすことができた。このランダム性を適切に維持した状態において、異なる工作物切断幅へ本手法によりスライシング実験を行ったところ、工作物切断幅と工作物送り速度の積の値である面積加工速度を一定とするように工作物最大送り速度とゲインを変化させることで、一定の加工溝幅を安定的に得ることができ、申請時の計画で述べていた「(2) ランダム性を維持した工作物最大送り速度とゲインを用いた極間制御の検討」をほぼ達成できた。

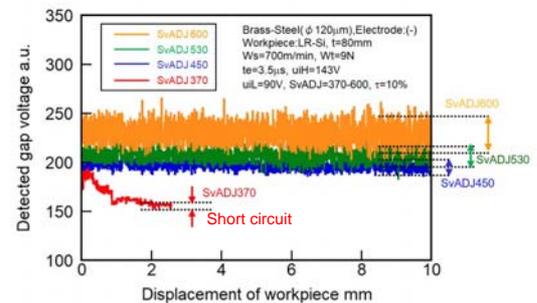


図1 極間電圧の変動

これらの知見を元に、半導体材料で一般的な円形断面を有する工作物に対するマルチワイヤ放電スライシングを行った。工作物切断幅が連続的に変化する場合における極間状態であっても、切り込み深さごとにおける工作物切断幅に応じて段階的に工作物最大送り速度とゲインを変化させることにより、均一な厚さの高品位なウェアを得ることができ、申請時の計画である「(3) 円形断面工作物に対するウェア厚さ均一性の検討」に関しても、その目的を達成することができた。

以上のように、申請時に計画していた「(2) ランダム性を維持した工作物最大送り速度とゲインを用いた極間制御の検討」、「(3) 円形断面工作物に対するウェア厚さ均一性の検討」に関して多くの知見を得ることができ、その目標をほぼ達成できたと考えている。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時は助成総額200万円として計画していたが、160万円の助成額となったことから、経費の配分を再検討した。

当初、備品として計画していた電流モニタトランスを本学の経費により購入した。マルチワイヤ放電スライシング装置における工作物保持等のための部材を検討したところ、これまでの部材を一部流用できたことから材料費を約半分程度に抑制することができた。ランダム性維持のための制御に用いる電装部品も、その機能を限定的にすることで、当初の計画の3/4程度の経費にてまかなうことができた。さらに、「工作物材料である単結晶SiC」の購入量を減少させる等の調整を行うことにより、申請時には本学の経費にて購入予定であった「加工ワイヤ電極」と「工作物材料である単結晶Si」を本助成金にて購入した。

上記のような予算の増減および執行状況に配慮して「(2)ランダム性を維持した工作物最大送り速度とゲインを用いた極間制御の検討」、「(3)円形断面工作物に対するウェア厚さ均一性の検討」に必要な部材を購入することにより研究を遂行した。

旅費については、ランダム性維持のための制御方法に関する電装部品の仕様に関する研究打ち合わせのために使用した。

全体として、当初の計画に必要な物品の購入等を行うことができ、円滑に経費を執行できたと考えている。

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）

マルチワイヤ放電スライシング法においてグループ給電方式を用いた際の課題である極間制御性に関して、新たに極間電圧変動幅を制御指標とするランダム制御方式を提案し、加工ワイヤ電極1本だけが取り残されるような不適切な加工状態を回避することができた。また、極間電圧変動幅と加工溝幅の大小関係に相関を得ることができたことから、本ランダム制御方式の実現性が大いに期待できることも明かとなった。

円形断面インゴットからウェハ状にスライスする工程では機械的な加工法であるマルチワイヤソー法が用いられているが、砥粒の管理等が不用となる本マルチワイヤ放電スライシング法を適応することができればターンキーシステムが実現でき、半導体製造プロセスに大いに貢献できるものと考えられる。

今後、開発が加速すると考えられるGa₂NはSiCよりも脆く、硬度自体は高いことからインゴットのスライス工程には課題も多い。本手法は放電エネルギーを適切に制御することでGa₂Nにも高品位・高効率なスライシングが適応できる可能性を有しており、将来、機械的な加工法であるマルチワイヤソー法に対して優位性を示すことができるものと確信している。

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）

1. Yasuhiro Okamoto, Takayuki Ikeda, Haruya Kurihara, Akira Okada, Masataka Kido: Control of Kerf Width in Multi-wire EDM Slicing of Semiconductors with Circular Section, Procedia CIRP, Proceedings of 19th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM2018), Vol.68, (2018), pp.100-103.
2. Takayuki Ikeda, Yasuhiro Okamoto, Haruya Kurihara, Akira Okada, Masataka Kido: Improvement of Shape Accuracy in Multi-wire EDM Slicing of Semiconductor Ingot, Proceedings of the 17th International Conference on Precision Engineering (ICPE2018), (2018), in Electrical File.