

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760116

研究課題名（和文） 超極少カーフロスを実現するシリコンスライシング

研究課題名（英文） Silicon Slicing for Ultrathin Kerf Loss

研究代表者

大西 修 (OHNISHI OSAMU)

宮崎大学・工学部・准教授

研究者番号：50315107

研究成果の概要（和文）：シリコンの放電加工における様々な加工パラメタに対する加工特性の解明に取り組み、シリコンの放電加工を上手く行うための指針を見出した。次に、炭素繊維を電極として使用するためのプロトタイプワイヤ放電加工装置を開発した。また、炭素繊維を放電加工の電極として使用するのに適した加工条件について調査し、炭素繊維をワイヤ放電加工で使用してカーフロス（切りくずとして無駄に削り取られる切り代）極小化を実現するための筋道をつけた。

研究成果の概要（英文）：Revelation of characteristics for various electric discharge machining parameters in slicing of silicon was tackled, and the guideline for good slicing of silicon was shown. Then, the prototypic wire electric discharge machine for using carbon fiber as electrode was developed. Further, processing conditions suitable for using carbon fiber as electrode were investigated. The way for realization of ultrathin kerf loss which was useless parts removed as chip by wire electric discharge machine with carbon fiber electrode was paved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 ・ 生産工学・加工学

キーワード：シリコンスライシング、カーフロス、炭素繊維、ワイヤ放電加工

### 1. 研究開始当初の背景

現在、半導体素子は電気を利用する機器には必ずといっていいほど組み込まれ、社会を支える支柱となっている。一方、半導体産業界は国際的な競争が非常に激化しており、これに打ち勝つためには半導体素子の更なる高集積化・高密度化・高性能化が必須となり、これを受けて、半導体製造技術の更なる発展が強く求められている。

半導体製造におけるシリコンウエハ製造工程の中で、シリコンを切り分ける「スライシング」は、ブレードソーによる内周刃スライシング方式あるいは最近主流となってい

る遊離砥粒を用いたマルチワイヤソー方式などにより加工が行われている。しかし、例えば、800 $\mu\text{m}$ 程度のウエハ厚さに対して、前者の場合はブレードソーの厚さが300 $\mu\text{m}$ ～250 $\mu\text{m}$ 程度、後者の場合はワイヤの径が200 $\mu\text{m}$ 程度もあるため、切りくずとして無駄に削り取られる部分である切り代（以下、カーフロスと呼ぶ）が非常に大きい。したがって、現状は、莫大な電氣的エネルギーを投じて製造した高純度シリコンの結構な割合を無駄に捨てている状況であるため、このカーフロスを極力小さくすることが強く求められている。しかし、シリコンのスライシングに関し

て、これまで様々な研究が国内外でなされているものの、カーフスはそれほど小さくなっていない。

研究代表者は、これまでのマイクロPCDドリルをワイヤ放電加工により成形し、脆性材料に対して穴加工を行うという研究において、複雑な形状の工具成形のため、現在のワイヤ放電加工による限界を超えた超極細のワイヤがあれば常に思案し続け、直径約5 $\mu\text{m}$ の炭素繊維を放電加工の電極線とする着想に至り、これをシリコンのスライシングにも応用できると考えた。また、これまでのマイクロ電着工具の製作に関する研究を踏まえ、ダイヤモンド砥粒を炭素繊維に電着させたダイヤモンド電着炭素繊維を製作し、これもスライシングに応用できる可能性があると考えた。以上の着想により、本研究を遂行した。

## 2. 研究の目的

最小直径が5 $\mu\text{m}$ 程度である炭素繊維を電極線としたワイヤ放電加工、あるいは、炭素繊維にダイヤモンド砥粒を電着したダイヤモンド電着炭素繊維を用いたワイヤソースライシングによって、切りくずとして無駄に削り取られる切り代（カーフス）を極端に小さくしたシリコンのスライシング法の確立を目的としている。

## 3. 研究の方法

### (1) シリコンの放電加工特性に関する実験

シリコンの放電加工特性を明らかにするために、通常のワイヤ放電加工機を用い、種々の加工条件（表1など）の下、シリコンのワイヤ放電加工実験を行い、加工面の観察、表面粗さや溝幅の測定を通して加工特性を調査した。また、RC回路の放電加工回路（図1）を製作し、種々の加工条件の下（表2など）、シリコンの片彫り放電加工実験を行い加工面の観察を通して加工特性を調査した。

### (2) プロトタイプワイヤ放電加工装置の開発

炭素繊維を電極として使用できるワイヤ放電加工機はないため、プロトタイプのワイヤ放電加工装置を開発した。

表1 ワイヤ放電加工条件

工作物	シリコン		
電極ワイヤ	材料：黄銅、直径：0.2mm		
条件	送り速度 [mm/min]	電流設定値* (*放電加工機独自の値)	開放電圧 [V]
A	10.0	7	80
B	2.0	7	80
C	10.0	8	80
D	10.0	7	75

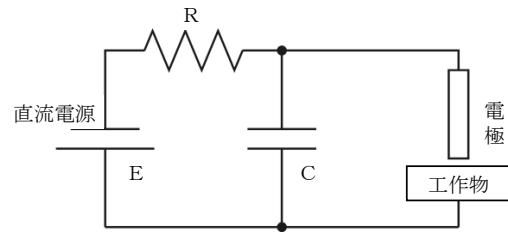


図1 RC放電回路

表2 片彫り放電加工条件

工作物	シリコン	
電極	材料：銅、直径：2mm	
条件	開放電圧[V]	110, 130, 150, 170
	コンデンサ容量 [ $\mu\text{F}$ ]	0.01, 0.047, 0.1
	抵抗[k $\Omega$ ]	1

### (3) 炭素繊維電極の加工特性に関する実験

炭素繊維電極の放電加工特性を明らかにするため、種々の加工条件の下（表3）、炭素繊維を電極とした放電加工実験を行い、加工後の炭素繊維の状態を調査した。

表3 炭素繊維電極を用いた放電加工条件

工作物	シリコン	
電極	炭素繊維	
条件	開放電圧[V]	60, 80, 100, 150
	コンデンサ容量 [ $\mu\text{F}$ ]	0.1
	抵抗[k $\Omega$ ]	1

## 4. 研究成果

### (1) シリコンの放電加工特性

①ワイヤ放電加工実験 表1に示す条件でワイヤ放電加工した後の工作物表面および切断面のSEM画像をそれぞれ図2および図3に示す。また加工した工作物の溝幅を図4に、切断面の表面粗さを表4に示す。

溝幅を測定した結果より、開放電圧、電流、送り速度が小さい方が、加工溝幅が小さくなるということがわかった。一方、表面粗さの測定結果より、電流が小さい方が表面の状態が良好で、また開放電圧が大きい方が表面の状態が良好ということがわかった。他方、送り速度の変化による加工面の表面粗さの変化はほとんどみられなかった。

本実験を通し、①開放電圧、電流、送り速度が低下すると、加工溝幅が小さくなる→カーフスを小さくできる、②電流は小さく、開放電圧は大きい方が、加工表面の状態は良好になる。一方、送り速度による加工表面への影響はほとんどみられない、ということが明らかにされた。他方、シリコンの結晶方位の影響を調べる実験から、結晶方位の加工溝

幅や表面粗さへの影響が明らかにされた。

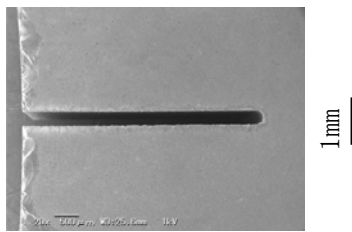


図2 ワイヤ放電加工後のシリコン表面

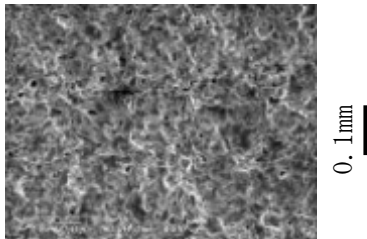


図3 シリコン切断面 (条件 A(表 1 参照))

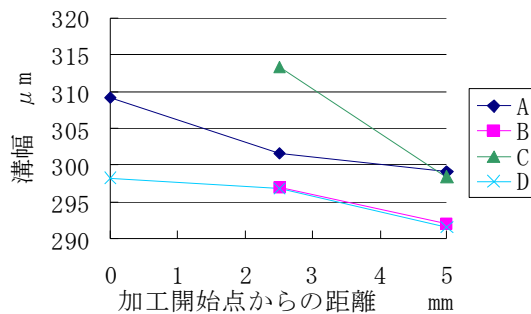


図4 加工溝幅 (条件は表 1 参照)

表 4 切断面の表面粗さ

条件*	表面粗さ Ra [ $\mu\text{m}$ ]
A	16
B	16
C	32
D	21

(\* 条件は表 1 参照)

②形彫り放電加工実験 RC 回路を用いた形彫り放電加工の実験では、開放電圧を 150V と設定しコンデンサ容量を 0.01、0.047、0.1  $\mu\text{F}$  と変化させ実験を行った。コンデンサ容量に対する表面粗さ、放電ギャップ、電極消耗量の関係をそれぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。

コンデンサ容量が減少するにつれて加工面の表面粗さが減少した。これはコンデンサ容量が減少することによって放電エネルギーも減少し、一回の放電で除去される工作物の量が減少したためであると考えられる。また、コンデンサ容量が減少するにつれて放電ギャップも減少している。これもコンデンサ容量の減少による放電エネルギーの減少

が原因であると考えられる。電極消耗量について考えるとコンデンサ容量が減少すると電極消耗量が増大する傾向がある。一般的に放電時間の長い波形つまりパルス幅が長くなると電極消耗を低く抑えられるといわれている。このことから、コンデンサ容量が大きくなるとパルス幅も長くなり、それによって電極消耗量が抑えられたと考えられる。

本実験を通し、表面粗さ、放電ギャップ、電極消耗量と RC 放電回路のコンデンサ容量との関係を明らかにした。他方、開放電圧を変える実験や電極材料を変える実験を通し、各パラメタの放電加工特性を明らかにした。

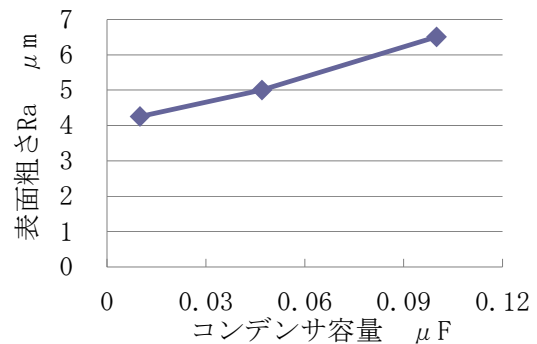


図5 コンデンサ容量の表面粗さへの影響

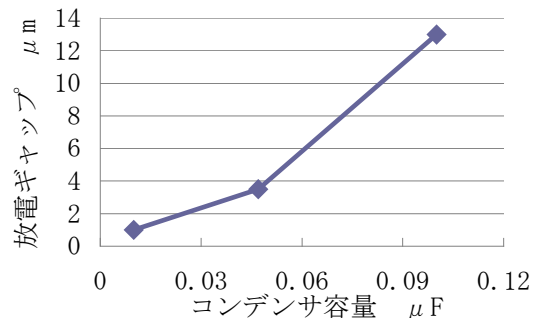


図6 コンデンサ容量の放電ギャップへの影響

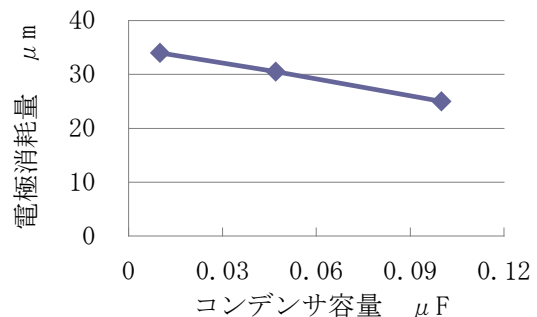


図7 コンデンサ容量の電極消耗量への影響

以上の実験を通し、シリコンの放電加工における様々な加工パラメタに対する加工特

性の解明に取り組み、シリコンの放電加工を上手に行うための指針を見出した。

## (2) プロトタイプワイヤ放電加工装置

開発したプロトタイプのワイヤ放電加工装置は、XYZ 駆動部、ワイヤ駆動部、電源装置部、フレーム部、加工槽部、制御装置部などから構成される。主な特徴としては、高い剛性を得るために門型構造とし、放電加工電源装置としては、RC 放電回路を採用している。また、軽量なアルミフレームを用い、制御装置や電源装置などをコンパクトにまとめる構造とした。開発したワイヤ放電加工機の外観を図 8 に示す。

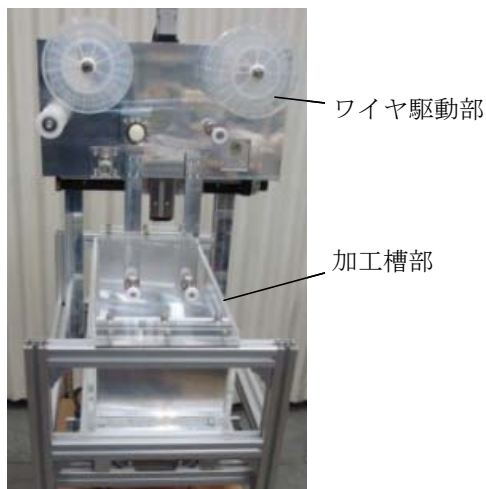


図 8 プロトタイプワイヤ放電加工装置

## (3) 炭素繊維電極の加工特性

加工前後の炭素繊維電極表面の SEM 画像を図 9 に示す。コンデンサ容量を  $0.1\mu\text{F}$  と設定し開放電圧を 60、80、100、150V と変化させて実験を行った。加工後の開放電圧 100、150V の条件で実験を行ったところ、炭素繊維

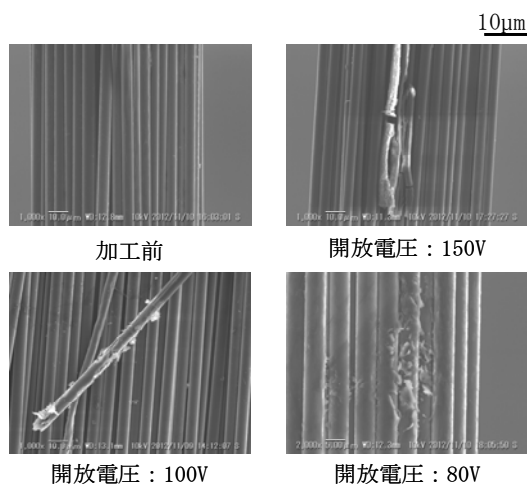


図 9 加工前後の炭素繊維電極の状態

の一部が断線した。開放電圧 80V の条件では、電極に小さな損傷が見られたが断線は確認出来なかった。また開放電圧 60V の条件では放電を確認することができなかった。

放電が確認できる範囲で、開放電圧が小さい条件で炭素繊維を電極として使用すれば断線することなく加工を行うことができると考えられる。

以上の(1)～(3)より、炭素繊維をワイヤ放電加工で使用してカーブロス極小化を実現するための筋道をつけることができた。炭素繊維放電スライシングや着着炭素繊維スライシングにおける工具の細線化などの残された課題に関しては今後さらに研究を続け、その結果、つまり、切りくずとして無駄に削り落としていた材料を大幅に削減し、シリコンインゴットからの切り出し枚数を増大させることなどを通して、半導体産業はじめ多くの産業に貢献し、成果を社会に還元する。

## 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)

[学会発表] (計 3 件)

- ①大西修、稲尾卓哉、佐島隆夫、黒河周平、土肥俊郎：炭素繊維電極を用いたシリコンのワイヤ放電加工に関する基礎的研究、日本機械学会九州支部第 66 期総会・講演会、2013 年 3 月 13 日、九州産業大学 (福岡)
- ②稲尾卓哉、大西修、土肥俊郎、黒河周平、畠田道雄、佐島隆生、水江宏：シリコンのワイヤ放電加工特性、日本機械学会九州支部第 65 期総会・講演会、2012 年 3 月 16 日、佐賀大学 (佐賀)
- ③稲尾卓哉、大西修、土肥俊郎、黒河周平、佐島隆生、畠田道雄：RC 回路を用いたシリコンの放電加工特性、2011 年度精密工学会九州支部大分地方講演会、2011 年 12 月 10 日、大分大学 (大分)

[その他]  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大西 修 (OHNISHI OSAMU)  
宮崎大学・工学部・准教授  
研究者番号：50315107

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし