

# マルチワイヤーソーにおける切断メカニズム

鈴木健一<sup>\*1</sup>, 青山新一郎<sup>\*1</sup>, 安岡快<sup>\*1</sup>

Mechanism of slice in multi-wire saw

Kenichi Suzuki, Shinichirou Aoyama, Kai Yasuoka

Key words : multi-wire saw slicing , abrasives , wire , abrasive action

## 1. 緒言

私達の身の周りには液晶やプラズマなどの大型テレビや携帯電話、車載機器などの電化製品が存在し、その全ての電化製品には半導体を使用されている。半導体集積回路の目覚ましい進歩により集積密度が高くなり、電化製品はじめエレクトロニクス装置の小型化・軽量化は日々進んでいる。電化製品の中で集積回路(IC)として使われている半導体部品の主な材料は単結晶シリコンである。

半導体用の単結晶シリコンインゴットの切断には内周刃による切断をはじめブレードソーなどによる切断方法によって行われていたが、インゴットが大口径化してきた今日ではマルチワイヤーによる切断が主流になっている。

マルチワイヤーは研磨材とクーラントを混合したスラリー状の液体を用いて切断している。そこで研磨材として使用されている炭化珪素がどのようにして切断に関わっているのかなど切断のメカニズムを解明する事を主な目的として研究を行った。

本稿ではマルチワイヤーにおける切断メカニズム解明の研究の一例を紹介する。

## 2. マルチワイヤーについて

切断加工の中にはレーザー光による工学的加工法や放電加工による電氣的加工法、ナイフや鋏などを使用して切断する機械的加工法などがある。その機械的加工法の中には固定砥粒方式と遊離砥粒方式が存在する。前者は外周刃、内周刃、ダイヤモンドワイヤーが該当し、後者にはマルチワイヤー、マルチブレードソーなどが該当する。

マルチワイヤーには通常2つのガイドローラーが備わっている。そのガイドローラーには一定の間隔で溝が彫られており、ワイヤーはガイドローラーの溝に1つ1つ巻き付られて、一定の張力で平行に保持されている。

切断中はワイヤーにスラリーを掛けて、ワイヤーを高速で双方向若しくは一方向で走行させている。ワイヤーの上方向からは加工サンプルを載せたテーブルが降下し、ほぼ同形状で多数枚同時に切断している。…**図1**

この工作物が降下する方式の他にテーブルを加工サンプルと共に上昇させる工作物上昇方式がある。

マルチワイヤー切断ではワイヤーに砥粒を含んだスラリーを付着させて加工サンプル間に供給し、切断するという一連の工程が重要な作業である。ワイヤー切断には研磨材とクーラント(水溶性、油性、etc)を配合したスラリーが主に用いられる。通常、配合は砥粒:クーラント=1kg:1Lの比率で行われる。

クーラントは冷却効果、潤滑油としての作用、ワイヤーへの砥粒の供給などを担っており、ワイヤー切断においては砥粒同様に重要な材料の1つである。ワイヤーに砥粒を含むスラリーを付着出来ないと冷却効果や砥粒による切削補助が出来なく、ワイヤーだけの切断では発熱して断線に至る事さえあると考えられる。ワイヤーは0.14~0.16程度の銅メッキ線で作られている。

業界ではワイヤー線径、粒径、ガイドワイヤーの溝ピッチの変更を繰り返して、カロスの低減を図っている。

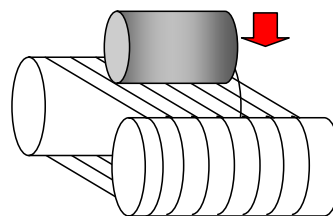


図1 加工物降下方式

## 3. 実験装置及び方法

本研究ではマルチワイヤーとして加工物降下方式のマルチワイヤーを使用し、**表1**の切断条件でソーダガラスを切断した。

ガラスの表面粗さを測定すると共にワイヤー表面のSEM写真を撮影し、観察をした。

\*1 信濃電気製錬(株)柏原工場, SiC 応用技術研究所

〒389-13 長野県上水内郡信濃町柏原 2222

表 1 主な切断条件

インゴット	直径	mm	150
	長さ	mm	150
ワイヤ-ピッチ		μm	950
ワイヤ-	最高速度	m/sec	12
		m/min	720
	張力	N	25
テーブル	設定速度	μm/min	520
	切込量	mm	156
	切断時間	h	5
ワイヤ-	直径	mm	0.16
砥粒	メ-カ-	信濃電気製錬	
	型式	GP#1000	
Work piece	Material	Soda glass	
	Size	60 × 150 × 19t	

#### 4. ガラス切断における加工メカニズム

未使用のワイヤ- SEM 写真を図2、砥粒を含んでいるスラリーが付着したワイヤ-の SEM 写真を図3に示す。

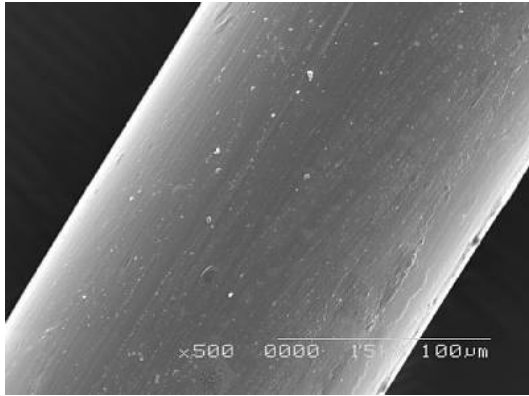


図2 未使用ワイヤ-

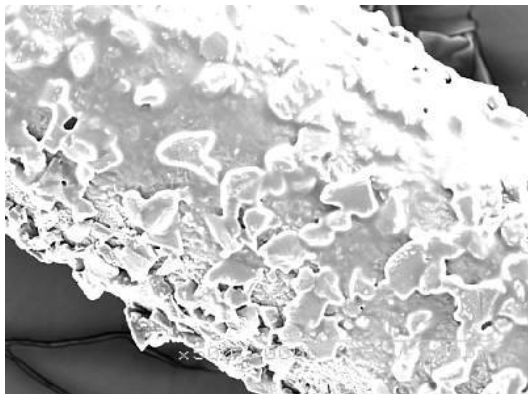


図3 スラリーの付着したワイヤ-

図2の未使用ワイヤ-は表面にメッキが施されており、鏡面の様に仕上げられている。図3のスラリーの付着したワイヤ-の SEM 写真からは、ワイヤ-の周りにスラリーや砥粒が付着しているのが観察出来た。砥粒の付着ムラがある事も分かった。

切断後のワイヤ-の SEM 写真を図4、5に示す。

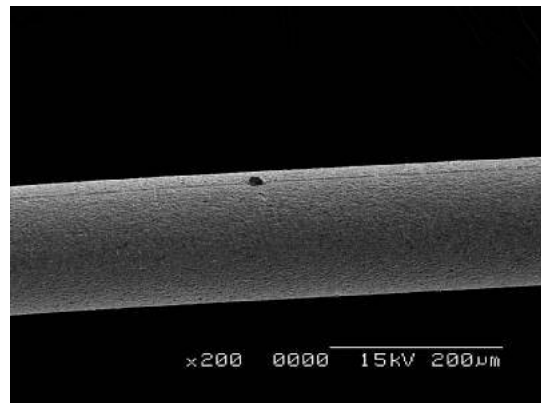


図4 切断後のワイヤ-

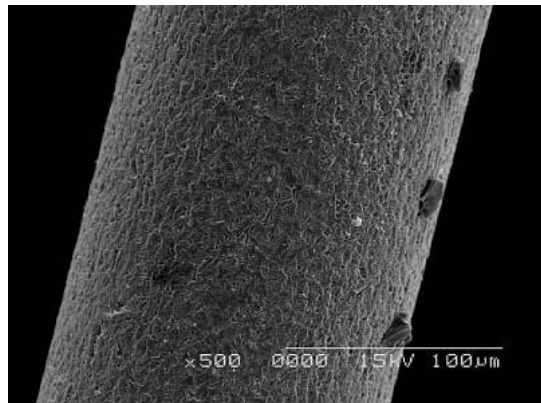


図5 切断後のワイヤ-

図4、5から砥粒が引きずられている現象、或る一方に砥粒が食いつき・張り付く現象が確認出来た。また、ワイヤ-の表面が全周で荒れている点から加工サンプルだけでなくワイヤ-表面にも削り、荒らしていると考えられる。

図6にワイヤ-によるガラス切断を途中で止めて、加工サンプルのワイヤ-走行方向面の表面を確認した。

ワイヤ-走行方向面のガラスを図7に示す。

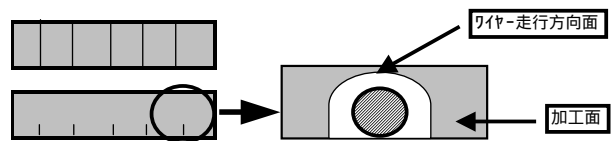


図6 ガラス切断概略図

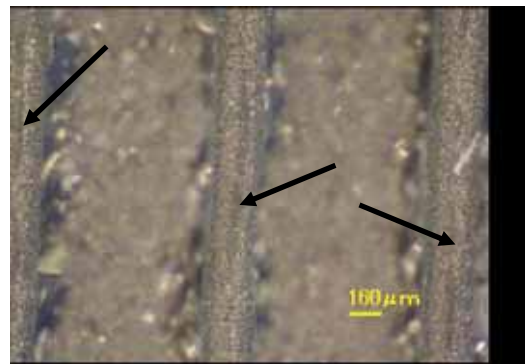


図7 加工後のガラス

図7の写真からワイヤ-走行方向面のガラス表面には狭い範囲で周囲よりも筋状で深く削れている軌跡を確認出来た。

ワイヤ-切断における各加工面(ワイヤ-走行方向面・加工面)での表面粗さの測定結果を表2に示す。

表2 各加工面での表面粗さ

WSでのワイヤ-走行方向の粗さ精度(縦)			WSでの加工面の粗さ精度(横)		
	Ra	Ry		Ra	Ry
1	11.728	57.728	1	1.576	9.292
2	12.272	54.599	2	1.504	9.392
3	14.248	68.188	3	1.483	9.100
4	15.865	68.771	4	1.470	9.013
5	14.249	62.307	5	1.564	9.258
Ave	13.672	62.319	6	1.515	8.958
			7	1.559	9.177
			8	1.505	8.800
			9	1.503	9.066
			Ave	1.520	9.117

ワイヤ-走行方向面と加工面では表面粗さ Ra, Ry 共に一桁数値が異なっている。ワイヤ-切断では明らかに加工面方向によって作用・仕事量が異なっている。

通常、切断時には上部からのテーブルによるテンションがワイヤ-との接点に負荷として掛りながら、ワイヤ-が双方向若しくは一方向に走行している。ワイヤ-と加工サンプル間で砥粒が挟まったままワイヤ-は走行して、加工サンプル上に砥粒が筋状で深い切削痕を残したと考えられる。大きな粒径ほど加工サンプルと最初に接触して仕事をすると考えられるが、その様な砥粒にはワイヤ-に食い込む様な強い圧力が加わっている筈なので図4、5の状態では図7の様な切削痕を作りながら切削していると考えられる。…**構造予想図8**

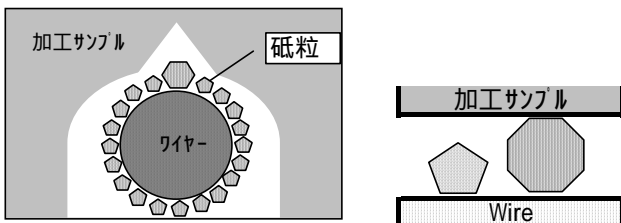


図8 構造予想図

### 5. 各加工面における作用の検証

表2の測定結果からワイヤ-走行方向面(縦)と加工面(横)の作用が異なると考えられる。それぞれの加工面の作用を転がりや引っ掻きなどに断定する為に作用毎による表面粗さを測定し、ワイヤ-切断の各加工面の作用を検証した。

転がし・転動作用の実証)試験1:2枚のソーダガラス間に#1000の砥粒を薄く敷いて挟み、上方向のソーダガラスのみ荷重を掛けて左右に移動させる。

引っ掻き作用の実証)試験2:上方向のソーダガラスに接着剤で#1000の砥粒を接着し、上方向のソーダガラスのみ荷重を掛けて左右に移動させる。

3)試験3:試験2と使用砥粒以外同条件。#600使用。

4)試験4:#1000の砥粒でのラップ試験を実施。

表3にそれぞれの試験結果を示す。

表3 各加工面における作用の表面粗さ

#1000の転がり粗さ精度		
	Ra	Ry
1	0.562	4.367
2	0.420	4.262
3	0.708	5.755
ave	0.563	4.795

#600の引っ掻き粗さ精度		
	Ra	Ry
1	0.055	0.539
2	0.059	0.491
3	0.070	0.705
ave	0.061	0.578

#1000の引っ掻き粗さ精度		
	Ra	Ry
1	0.011	0.191
2	0.016	0.196
3	0.022	0.220
ave	0.016	0.202

ラップでの面粗さ精度		
	Ra	Ry
10Batch	0.578	4.826
20Batch	0.530	4.313
	0.554	4.570

この表面粗さの測定値より、#1000砥粒によるラップ試験と転がり作用を見立てた試験で表面粗さ Ra, Ry は共に近似値を示した。ラップは転がり作用と類似な切断状態・条件であったと考えられる。(荷重 110g/cm<sup>3</sup>前後)

引っ掻き作用と転がり作用を見立てた試験を表面粗さ Ra で比較すると転がり作用の粗さの方が粗い結果となった。また、引っ掻き作用では粗い番手ほど表面が粗い結果となったが、これは引っ掻き作用に限って起きた結果でなく、転がり作用でも粒径に応じて粗くなると思われる。

ここまでの作用による表面粗さの測定結果とワイヤ-切断での各加工面の測定結果を擦り合わせる。

ワイヤ-切断でのワイヤ-走行方向面の表面粗さ Ra は 13.672 μm。

引っ掻きや転がり作用での表面粗さとは2桁3桁異なる数値となっている。ワイヤ-切断で砥粒は転がり・引っ掻き・押し込みなどの作用が行われると言われますが、表面粗さの数値から判断すると引っ掻きよりも転がり作用である可能性が高く、断定は出来ませんが大きな荷重の掛っている状態での転がりが主の作用であると考えられる。砥粒が転がらない状態では引っ掻き作用となっているでしょう。

ワイヤ-切断での加工面は表面粗さが 1.52 μmと比較的ラップでの作業と類似していた。数値が一致しない理由としては、ワイヤ-とラップでは砥粒の送り込み量や荷重などの切断条件・環境で一致していない点が考えられる。

### 6. ワイヤ-切断における砥粒分布の変化

表4の切断条件で切断した際の切断前後における分布を図9、体積変化量を図10、時間毎における体積変化量の推移を図11に示す。

表4 切断条件2

インコット	直径	mm	150
	長さ	mm	150
ワイヤ-ピッチ		μm	950
ワイヤ-	最高速度	m/sec	12
		m/min	720
	張力	N	30
テーブル	設定速度	μm/min	470
	切込量	mm	155
	切断時間	h	6
ワイヤ-	直径	mm	0.16
砥粒	メーカー	信濃電気製錬	
	型式	GP#1000	

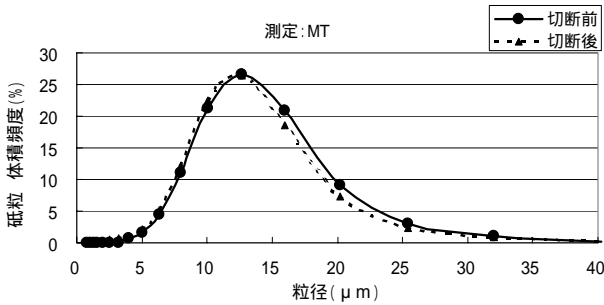


図9 切断前後の分布

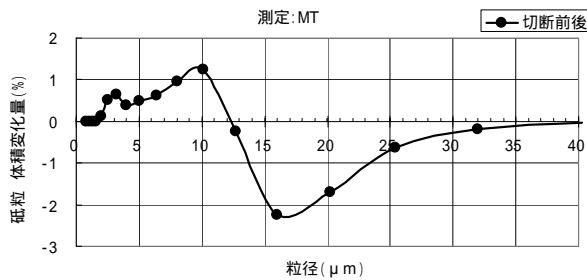


図10 切断前後の体積変化量

ワイヤ-切断では転がり、押し込みなど様々な作用によって、主に平均粒径よりも粗目の砥粒が体積を減らして仕事をしながら徐々に細目へ移行している。粒径の大きな砥粒から加工サンプルに接触し、仕事量の代償として体積を変化させていると考えられる。

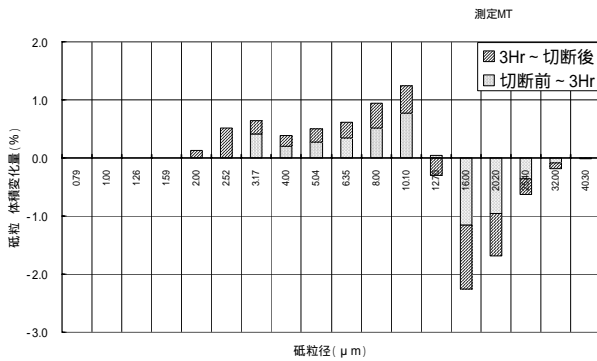


図11 時間毎の砥粒体積量の推移

時間毎の推移でも砥粒は平均粒径よりも粗目で大量に体積を減らして、細目へと移行しているのが分かる。最初の3時間では3.17 μmまでしか存在しなかったが、3時間以降は2 μmまで砥粒が存在していた。この現象により細粒化した粒子も仕事をして、更に細粒化し続けている事が分かった。

## 7. 結言

マルチワイヤ-による切断から以下の事が明らかとなった。

- (1) ワイヤ-の周りにはクーラントを介して砥粒が付着しており、ワイヤ-表面に張り付いている。砥粒は加工サンプルとワイヤ-表面の両方を削り、荒らしている。
- (2) 切断時は上部からのテーブルによるテンションがワイヤ-との接点に負荷として掛る。ワイヤ-と加工サンプル間で砥粒が挟まったまま、ワイヤ-は走行して砥粒が加工サンプル上で筋状の深い切削痕を残している。
- (3) ワイヤ-走行方向面と加工面の表面粗さは一桁、数値的に10 μm以上異なる。横方向の作用はラップの作業と類似な切断状態。縦方向は大きな荷重が掛った転がりが主的作用であると考えられる。
- (4) ワイヤ-切断において砥粒は平均粒径よりも粗目で体積を減らして仕事をしており、細目へと移行している。微粒子も仕事量と共に細粒化が進んでいる。

## 参考文献

- 1) (社)砥粒加工学会:図解 砥粒加工技術のすべて, (株)工業調査会, 2006, pp.120-122
- 2) 中野朝安,星野洋,小松良策:微細加工 サブミクロン素子への展開,1989,PP1-3