

金属粉末を添加したレジンボンドダイヤモンドワイヤ工具の開発

Development of a Resinoid Diamond Wire Containing Metal Powder for Slicing of a Silicon Ingot

榎 本 俊 之*・谷 泰 弘**・神 田 雄 一***

Toshiyuki ENOMOTO, Yasuhiro TANI, Yuichi KANDA

1. 緒 言

近年、高集積化が進む半導体デバイスにおいては、配線パターンの微細化のみの対応では性能向上が困難となり、チップサイズそのものが大きくなる傾向にある。これに伴い、生産コストの低減、適正化を図るためにシリコンウェーハは大口径化の一途をたどっている。その結果、シリコンインゴットの切断においても、主に生産性の観点から工程変革が強く求められ、従来の内周刃切断方式からワイヤ切断方式へと移行が進んでいる。

現在、遊離砥粒方式のワイヤ切断が実際に用いられているが、作業環境等の問題を有するため、固定砥粒ワイヤ工具の適用が切望されている。しかし既に開発されている電着ワイヤ工具とレジンボンドワイヤ工具は、いずれも解決すべき問題を残しており、現行の遊離砥粒方式を代替するには至っていない。

そこで著者らは、樹脂中に金属粉末を添加した複合材料を結合剤として用いた固定砥粒ワイヤ工具を開発し、その特性の評価を行ったので報告する。

2. 現状のダイヤモンドワイヤ工具の問題点

2.1 市販のダイヤモンドワイヤ工具の問題点

先に開発が進められた、金属を結合剤とした電着ワイヤ工具では、次のような問題点が指摘されている。

- めっき工程における製造時間が長いため長尺化が難しく、コストが高い。
- 破断ねじり強度や曲げ強度が低く、断線しやすい。

短尺ワイヤのエンドレス化も試みられているが、溶接部におけるねじり強度、曲げ強度の著しい低下により、ワイヤ破断の確率が極めて高い。また、シリコンインゴット切

表1 レジンボンドワイヤ工具の作製条件

Core wire	φ 0.2mm Piano wire
Bonding material	Phenolic resin (resol type)
- Desiccation	60min at 70°C
- Heat-curing	10min at 150°C
Abrasive grain	30-40μm Diamond
- Concentration	50

断用には通常数十 km 以上のワイヤ長が必要とされ¹⁾、この点において電着ワイヤ工具の実用化は困難である。

そこで、製造コストが低く、長尺化が容易なレジンボンドワイヤ工具が開発された²⁾。しかし、これについても以下のような問題が挙げられている。

- 砥粒保持強度や耐熱性が低く、工具摩耗が大きい。
- 破断検知が困難である。

そこでまずは、表1に示す作製条件でレジンボンドワイヤ工具を自作し、市販のダイヤモンドワイヤ工具と併せて特性評価を行い、問題点を明らかにすることとした。

2.2 破断ねじり強度に関する問題点

ワイヤ工具の物理的特性として、破断ねじり強度の評価を行った。この破断ねじり強度が高い、すなわちねじり破断に達するまでの角度が大きいワイヤほど、加工中に生じるねじりや曲げに起因する断線が生じにくい³⁾。そこでピアノ線のねじり試験法を定めた JIS G 3522 を参考に、表2に示すワイヤのねじり試験を図1に示す方法で行った。

ねじり試験の結果を示す図2からわかるように、電着ワイヤ工具 ND, CD はピアノ線 P, BP に比べ破断ねじり角度が小さくなっている。また、電着ワイヤ工具よりも破断ねじり強度が高くなると予想されたレジンボンドワイヤ工具 CR, OR は、同程度かあるいはさらに低い値を示している。強度低下の程度が極めて大きいため、使用した芯線強度の差異以外に主要因があるものと考えられる。

レジンボンドワイヤ工具の結合剤として用いたフェノー

*東京大学生産技術研究所 第2部 (株)リコー生産技術研究所)

**東京大学生産技術研究所 第2部

***東京大学生産技術研究所 第2部 (東洋大学)

研 究 速 報

表 2 切断ねじり強度評価に用いたワイヤおよびワイヤ工具 (I)

Symbol	Types of wires and diamond wires	Mean diameter mm
P	Commercial piano wire	0.20
BP	Commercial brass coated piano wire	0.18
ND	Commercial Ni electrodeposited diamond wire	0.25
CD	Commercial Ni-Cu electrodeposited diamond wire	0.25
CR	Commercial resinoid diamond wire	0.24
OR	Original resinoid diamond wire	0.26

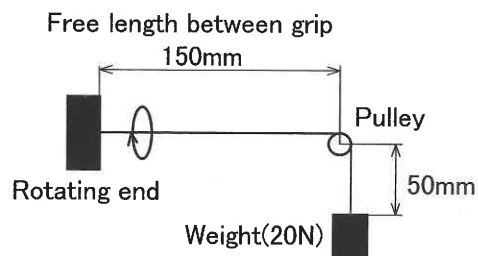


図 1 破断ねじり試験の概略図

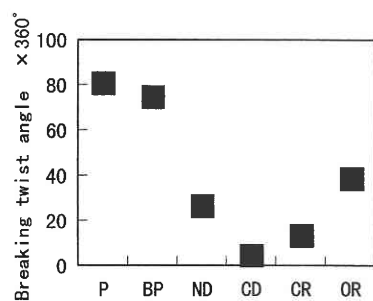


図 2 各種ワイヤおよびワイヤ工具の破断ねじり強度

ル樹脂は熱硬化性樹脂であり、150～200℃で加熱硬化するが、ワイヤ芯線に用いるピアノ線や硬鋼線は200℃前後の加熱により青熱脆性を生じ、引張強さや硬度の増加、伸びや破断ねじり回数の著しい低下が起こる⁴⁻⁵⁾。

そこで、青熱脆性が破断ねじり強度低下の原因であることを確認するために、強度に及ぼす加熱の影響を調べることとした。

表2のP、OR、表3のRP（ピアノ線Pに樹脂のみを塗布したワイヤ）と同様の組成をもつワイヤについて、70℃ 60分間の乾燥後、10分間の加熱焼成を70℃、100℃、150℃の各温度において行った。図3にねじり試験の結果を示す。同図からわかるように、100℃、150℃の加熱により、特にOR、RPにおいてねじり強度が低下しており、加熱および樹脂被覆により芯線が著しい青熱脆性を生じたことが確認された。

表 3 切断ねじり強度評価に用いたワイヤ (II)

Symbol	Types of wires	Mean diameter mm
RP	Resin coated wire without diamond grains	0.25
HP	Heat-treated piano wire	0.20

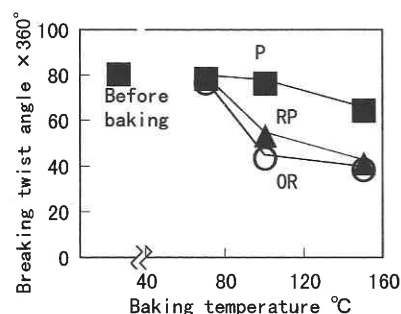


図 3 破断ねじり強度に及ぼす加熱の影響

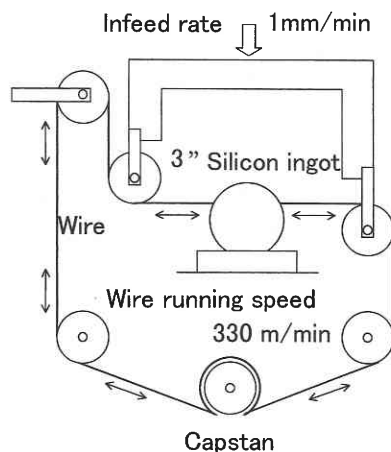


図 4 切断加工装置

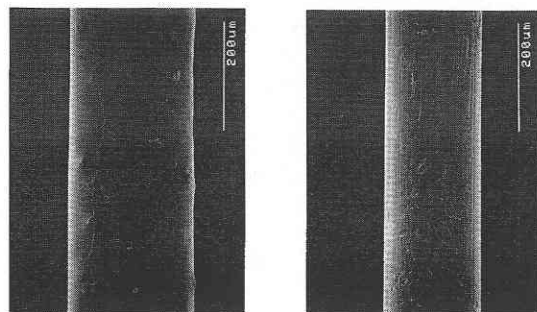
表 4 切断条件

Wire running speed in average m/min	330
Wire length m	30
Wire tension N	30
Infeed rate mm/min	1
Reciprocate interval s	5
Slicing time min	30
Slicing fluid	Tap water
Workpiece	3" silicon ingot

2.3 切断特性に関する問題点

レジンボンドワイヤ工具の切断特性を評価するために表2の市販の電着ワイヤ工具CDと自作したレジンボンドワイヤ工具ORを用い、3インチのシリコンインゴットの切断実験を行った。

加工機械には、図4に示すようなワイヤ工具が往復動する方式の切断装置（Model 2008 レーザーテクノロジー社



(a) 切断前

(b) 切断後

図5 切断前後のレジンボンドワイヤ工具

表5 微粉末を添加したワイヤ工具

Symbol	Types of diamond wires	Mean diameter mm
RC3	Resinoid diamond wire containing 30wt% copper powder	0.26
RC6	Resinoid diamond wire containing 60wt% copper powder	0.26
RS	Resinoid diamond wire containing 30wt% SiC powder	0.26
RA	Resinoid diamond wire containing 30wt% Al_2O_3 powder	0.26
RD	Resinoid diamond wire containing 30wt% diamond powder	0.26

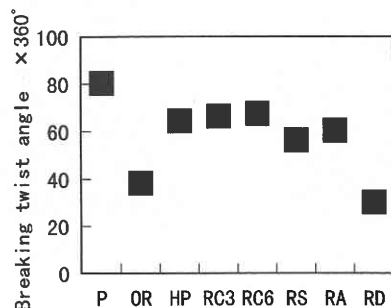


図6 破断ねじり強度に及ぼす粉末添加の効果

製)を用いた。表4に切断条件を示す。

その結果、図5の走査型電子顕微鏡によるワイヤ工具の表面観察写真に示されるように、30分間の加工後のレジンボンドワイヤ工具は、その砥粒層がほぼ剥離し芯線であるピアノ線が露出してしまった。一方、電着ワイヤ工具は加工前後で明瞭な変化はみられなかった。このことより、レジンボンドワイヤ工具は電着ワイヤ工具に比べ砥粒保持強度が低く、摩耗が激しく、このままではシリコンインゴットの切断には適用できないことがわかった。

3. 結合剤樹脂への添加粉末の検討

そこで、破断ねじり強度、砥粒保持強度等の特性を向上させるために結合剤樹脂中へ適当な粉末を添加することとし、次の4種類の粉末を選択した。まず金属粉末としてレジン-メタルボンド研削砥石において多く使用されている銅粉末(平均粒径 $0.94\mu m$)を、次に無機粉末として炭化珪素(平均粒径 $1\mu m$)、酸化アルミニウム(平均粒径 $1.2\mu m$)、ダイヤモンド(粒径 $0-1\mu m$)砥粒を選択した。そして表1の条件で、これらの粉末を添加したダイヤモンドワイヤ工具を作製した(表5)。

これらのワイヤ工具のねじり試験結果を図6に示す。これより、破断ねじり強度低下の抑制には銅粉末の添加が最も適していることがわかる。液状フェノール樹脂は熱硬化時にホルムアルデヒドを発生するレゾール型であり、通常はその還元作用のため芯線への浸炭作用が強まるが、銅粉末を添加すると粉末表面の酸化膜の還元でホルムアルデヒドが消費され(この現象は導電性ペーストの熱硬化時に用いられている)、芯線への浸炭作用を弱めたと考えられる。また微粒ダイヤモンドを添加したRDの強度低下が著しいのは、樹脂のみの場合と同様、炭素の豊富な雰囲気となり、加熱時に多量の炭素が芯線に供給されたためと思われる。以上の結果より、加熱工程において生じる青熱脆性および破断ねじり強度の低下を抑制するためには、結合剤樹脂への銅粉末の添加が極めて有効であることが判明した。

4. 金属粉末を添加したレジンボンドダイヤモンドワイヤ工具の特性評価

4.1 耐熱性の評価

大口径インゴットのワイヤ切断においては、切断点への加工液の供給が極めて困難になり、加工点温度の上昇が大きい。そのため、ワイヤ工具には高い耐熱性が要求される。その耐熱性を評価するために、加工エネルギーが全て熱に変換されると想定した熱量をワイヤ工具に加え、加熱前後の破断ねじり強度を比較した。図7に、その結果を示す。

同図から、破断ねじり角度は銅粉末添加の有無にかかわらず低下していることがわかる。しかし、レジンボンドワイヤ工具ORでは3回転までに低下するのに対し、銅粉末を60wt%添加したワイヤ工具RC6では10回転への低下にとどまっている。これは銅粉末添加により熱伝導性が向上したためと考えられる。これにより結合剤樹脂の熱劣化、それにとまなう砥粒脱落が抑制されることが期待できる。

4.2 切断特性の評価

2.3節と同様の切断加工実験を、銅粉末を添加したレジンボンドダイヤモンドワイヤ工具を用いて行った。図8に

研 究 速 報

各ワイヤ工具による平均切断能率、平均半径摩耗率と切断面粗さを示す。ここで切断面粗さは切込み方向に測定し、評価長さ4mm、カットオフ0.8mmとした。この図から、銅粉末を添加することで摩耗率が減少し、特に60wt%添加した場合は、電着ワイヤ工具と同等の摩耗率に抑制されていることがわかる。また切断能率についても、無添加のレジンボンドワイヤ工具に比べ、1.7倍の向上が認められる。このことはワイヤ工具の表面観察(図9)で確認できる。加工前のワイヤ工具では結合剤中に砥粒が埋没しているが、加工開始と同時に結合剤の表層が除去され砥粒が露出し、切削作用を生じ、その結果良好な切断能率が得られたものと考えられる。

一方、切断面粗さについては、研削砥石の場合と同様、メタルボンドである電着ワイヤ工具CDに比べ、レジンボンドワイヤ工具ORでは著しく向上し、銅粉末を添加したレジンボンドワイヤ工具RC3、RC6においても同程度の表面粗さが得られている。このことより、シリコンウェハ製造における次工程の負荷を大きく軽減できるものと考えられる。

5. 結 言

- (1) 結合剤樹脂の熱硬化工程において芯線が青熱脆性を生じ、ワイヤ工具の破断ねじり強度が著しく低下することがわかった。
- (2) 結合剤中に銅粉末を添加することにより、レジンボンドワイヤ工具の破断ねじり強度および耐熱性を向上させることができた。
- (3) シリコンインゴットの切断加工において、1.7倍の切断能率向上および0.6倍以下の工具摩耗減少を実現し、砥粒保持強度を高めることができた。
- (4) シリコンインゴットの切断加工において、電着ワイヤ工具に比べ良好な切断面粗さ(3.4 $\mu\text{m Ry}$, 0.5 $\mu\text{m Ra}$)を得ることができた。

最後に、ワイヤ工具に関し技術指導頂いた東京工業大学戸倉和先生、工具、試料等のご提供を頂いた旭ダイヤモンド工業(株)、大阪ダイヤモンド工業(株)、(株)東京ダイヤモンド工具製作所、(株)日平トヤマ、牧野フライス精機(株)、三井金属鉱業(株)、三菱マテリアルシリコン(株)ならびに加工実験にご便宜をおはかり頂いたムサシノ電子(株)、表面粗さ測定にご便宜をおはかり頂いた(株)小坂研究所、実際の実験に従事して頂いた東洋大学鈴木真理君に記して深謝申し上げる。

(1998年12月16日受理)

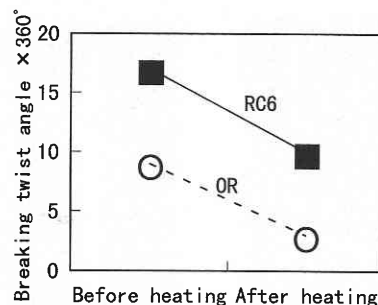


図7 加熱による破断ねじり強度劣化に及ぼす粉末添加の影響

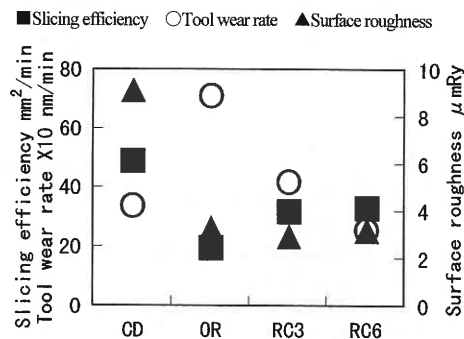


図8 粉末添加が切断特性に及ぼす効果

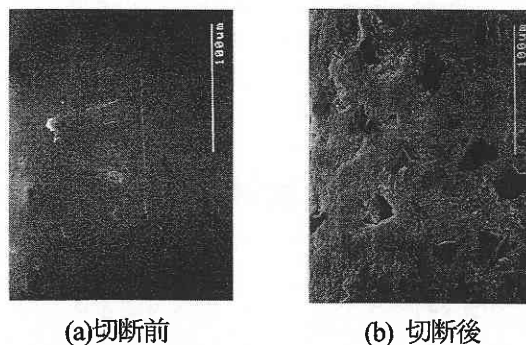


図9 切断前後の銅粉60wt%添加したレジンボンドワイヤ工具

参 考 文 献

- 1) 絹谷・金道, ワイヤソーによる大口径ウェハの切断技術, 電子材料, 7 (1996), 29-33.
- 2) 小川・山中・浦川・三宅・原, 固定砥粒ダイヤモンドワイヤソーの切断性能, 1997年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (1997-9), 369-370.
- 3) 石川・諏訪部・金山・牧野・吉田, ダイヤモンド電着ワイヤ工具の加工特性に関する研究, 機論, 60-573, C (1994) 1815-1820.
- 4) 日本鉄鋼協会, 鋼の熱処理改訂5版, (1969), 539, 丸善, 東京.
- 5) 日本熱処理技術協会, 機械部品の熱処理(Ⅱ), (1970), 43, 日刊工業新聞社, 東京.