

非金属脆性材料の精密加工に関する研究

機械加工科 主任研究員 福田 洋 平

半導体製造装置に組み込まれる部品には、躯体パーツとなるアルミの削り出し加工品や板金加工品のほか、クリティカルパーツと呼ばれる高付加価値加工部品があり、近年、クリティカルパーツの中で非金属脆性材料の占める割合が増えつつある。しかし、非金属脆性材料は長崎県のものづくり企業が得意とする切削加工技術で加工することができず、超砥粒ホイールやダイヤモンド工具を用いた加工技術が必要となる。本研究は、長崎県の半導体関連産業の振興を後押しするために、非金属脆性材料の加工技術の高度化を目的に取り組んだ。

1. 緒言

スマートフォンやパソコンの中でデータの処理を担うIC（集積回路）は半導体と呼ばれ、単結晶シリコンを主な材料として、微細加工プロセスによって製造される。近年のAI技術やIoT技術の普及・拡大に伴い、ICの更なる微細化など、半導体への要求は日々高まっている。半導体製造装置においては、ICの微細化を達成するためのコンタミネーションの低減、および消耗部品の長寿命化の観点から、従来、金属で製作していた部品を非金属脆性材料に置き換える動きが進んでいる^[1]。

しかし、非金属脆性材料は長崎県のものづくり企業が得意とする切削加工技術で加工することができず、超砥粒ホイールやダイヤモンド工具を用いた加工技術が必要となる。県内企業が新たに非金属脆性材料の加工技術開発に取り組む場合、研削盤やグラインディングセンタの導入から始める必要があるため、経済的なハードルとリスクが高い。

そこで、加工技術の開発ノウハウ、および各種の工作機械と評価設備を保有する工業技術センターが非金属脆性材料の加工ノウハウの構築に取り組む。本稿では、単結晶シリコンを加工対象としたダイヤモンドドリルによる穴あけ加工について報告する。

2. 実験方法

2. 1 穴加工実験

半導体製造装置は、純水、ガス、薬液などの流体を取り扱うものが多く、それらの流路を形成するために穴加工の必要性が高い。今回は単結晶シリコンを加工対象として、2種類のPCD（多結晶ダイヤモンド）ドリルを用いて穴加工実験を実施した。表1にPCDドリルの仕様を、表2に加工条件を示す。なお、主軸振れ

の影響による穴品質の低下を防ぐため、工作機械の主軸にモータスピンドル（株式会社ナカニシ製：HES510-BT40）を取り付けて加工した。

表1 PCDドリルの仕様

	汎用形状	多角形状
メーカー	協和精工株式会社	
工具径	φ1.0 mm	
ねじれ角	30 °	
溝長	8 mm	
先端形状		

表2 穴加工実験の加工条件

主軸回転数	10,000 min ⁻¹
送り量	0.002 mm/rev
ステップ量	0.5 mm
穴加工深さ	5.0 mm
加工穴数	36
加工面（結晶方位）	(001)面

2. 2 マイクロクラックの評価方法

機械加工を施した脆性材料の加工面には、マイクログラックと呼ばれる亀裂が材料内部に向かって進行している場合がある。マイクログラックの存在は、脆性材料で製作された部品の微細な欠けを誘発するものであり、コンタミネーション低減の観点から、加工によっ

て生じるマイクロクラックは評価・管理される必要がある。

今回は穴の軸方向断面に対して研磨とエッチングを施し、マイクロクラックの拡大観察と長さ測定を実施した。なお、実験には新品の工具を使用し、31 穴目から 36 穴目の 6 穴を評価した。マイクロクラックの評価手順を表 3 に、調整後のサンプル写真を図 1 に示す。

表 3 マイクロクラックの評価手順

1. 研削	粒度 170 のダイヤモンドホイールを用いて評価面の 100 μm 手前まで除去
2. 研磨	粒度 2000 と粒度 4000 の SiC 研磨紙を用いて評価面まで除去
3. 琢磨	粒径 1 μm のダイヤモンド懸濁液を用いて評価面を鏡面仕上げ
4. エッチング	5 wt%アセトン含有 0.2 mol/L 水酸化ナトリウム溶液を用いて、90 分エッチング処理
5. 長さ測定	マイクロスコープの測長機能を用いてマイクロクラック長を測定

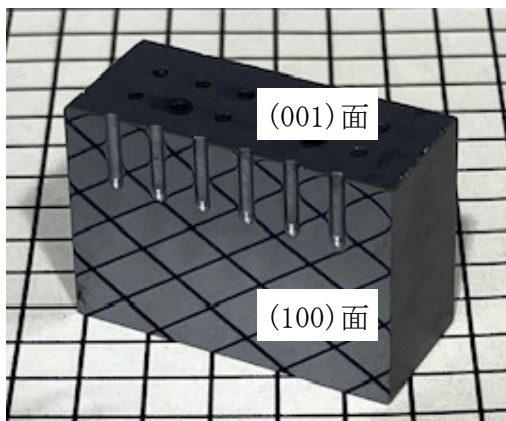


図 1 調整後のサンプル

3. 結果および考察

汎用形状ドリルによる加工穴断面を図 2 に、多角形状ドリルによる加工穴断面を図 3 に示す。いずれも 36 穴目の加工穴断面である。

汎用形状ドリルにおいては、穴底方向に向かって斜め約 45° のマイクロクラックが穴の円筒面全域にわたり発生した。一方の多角形状ドリルはマイクロクラックの発生が抑えられており、発生は局所的かつ最大マイクロクラック長は 32 μm であった。

汎用形状ドリルは切れ刃が先端にしかついておらず、生成される円筒面は、旋盤の突っ切り加工における端面と同じように成り行きで生成される。多角形状ドリルを用いることで、外周付近の切れ刃がワイパー刃のように作用し、脆性破壊に伴うマイクロクラックの発生を抑えていると考えられる。

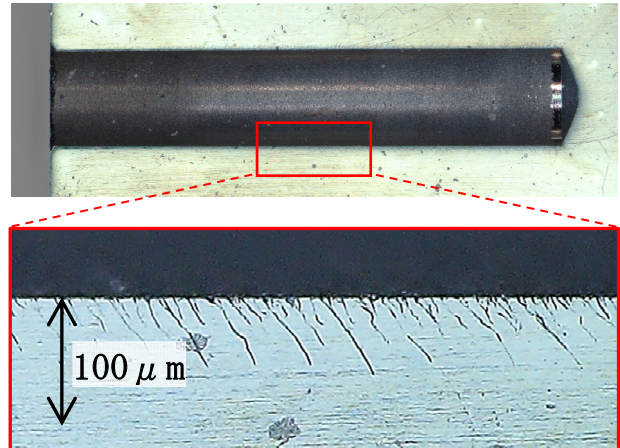


図 2 汎用形状ドリルによる加工穴断面

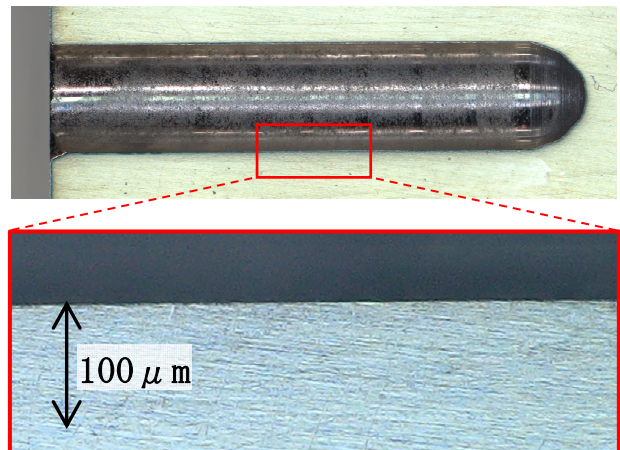


図 3 多角形状ドリルによる加工穴断面

4. 結言

単結晶シリコンの穴加工において、工作機械の主軸にモータスピンドルを取り付け多角形状の PCD ドリルを用いることで、比較的良好な穴品質を得られることを確認した。

参考文献

- [1] 大谷、石月：石英製品、シリコンパーツの技術動向、SoftMatter 11月号, pp.18-20, 2020.