

## CBN 工具による単結晶シリコンの超精密切削加工と状態監視

鹿児島大学 ○小原裕也 近藤 英二  
鹿児島県工業技術センター 岩本 竜一

## Ultra-Precision Cutting of Single Crystal Silicon using CBN Tool and its Monitoring

Kobaru Yuhya and Eiji KONDO, Kagoshima University

Ryuichi IWAMOTO, Kagoshima Prefectural Institute of Industrial Technology

**Abstract:** Surface roughness of single crystal Silicon machined with a sintered CBN cutting tool on face lathe was fairly small and looked like mirror without surface near center but part of surface near center was cracked by brittle fracture. Mechanism of tool wear was abrasion wear and main part of worn edge was on tool flank. Thrust force was most sensitive to tool flank wear and brittle fracture in cutting process. AE signal was also sensitive to brittle fracture in cutting process..

## 1. まえがき

ガラスなどの脆性材料の切削加工では、切取り厚さがある臨界量以下にすると塑性変形を主体とする材料除去機構が得られ、ピットなどの脆性破壊損傷のない平滑な加工面が創生できる。このような切削加工は延性モード切削と呼ばれ<sup>(1)(2)</sup>、脆性材料加工の高能率化、高精度化の方法として注目されている。しかしながら、延性モード切削を実現するための条件に影響する因子は多く<sup>(3)(4)</sup>、安定した延性モード切削を行う切削条件の予測は困難なため、適応制御による延性モード切削の安定化に関する研究もなされている<sup>(5)</sup>。一般に、脆性材料の超精密切削加工では単結晶ダイヤモンド工具が用いられているが、非常に高価であるため適用分野が限られている。そこで、安価な市販の焼結 CBN 工具を用いて単結晶シリコンの超精密切削加工を行い、切削性能を調べた。また適応制御により安定した切削を行うのに有効な監視パラメータを調べるため、切削中の

切削抵抗、AE 信号、振動加速度についても調べた。

## 2. 実験装置および実験方法

図 1 に実験装置、表 1 に実験条件を示す。実験には超精密旋盤を用いた。切削工具には、鋳鉄や高硬度材の切削加工用に市販されている焼結 CBN 工具を用いた。工具のノーズ半径は 0.8 mm で、切れ刃に 0.12 mm のチャンファが付いており、チャンファ部の傾斜を含めた工具すくい角は $-26^\circ$  である。被削材には、直径 76.2 mm、厚さ 6 mm の単結晶シリコンを用いた。ここで、図 2 に示すように被削材の加工面の結晶面は(100)のものを用い、また図 3 に示すように被削材の半径 3 mm 以下と 37 mm 以上の部分は前加工で深さ約 50  $\mu\text{m}$  まで取り除いておき、1 回の切削実験では半径が 3~37 mm の部分の面を切削するようにした。ここで、被削材を 1 回切削するときの切削距離は約 1.4 km である。実験では被削材を外側から中心に向けて正面切削し、切削抵抗、AE のエンベロープ信号、工具の振動加速度を図 3 で示したように半径 5~35 mm の間で 5 mm 間隔 (図の A~

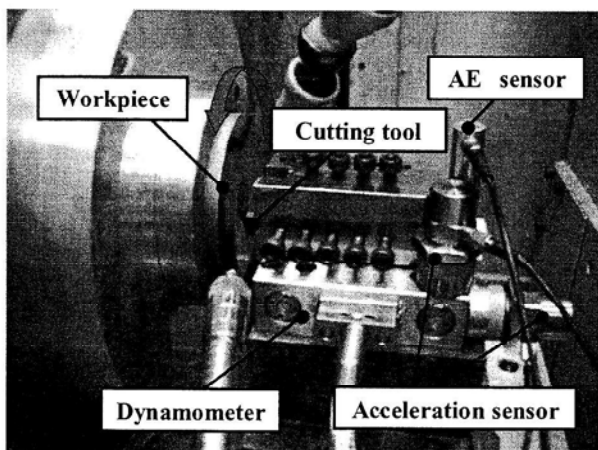


Fig.1 Experimental apparatus

Table 1 Cutting conditions

Workpiece	Material	Silicon wafer (100)
	Diameter	76.2 mm
	Thickness	6 mm
Tool	Material	Sintered Cubic Boron Nitride (CBN)
	Nose radius	0.8 mm
	Rake angle	-11 deg.
	Clearance angle	11 deg
	Chamfer	0.12 mm (-26 deg.)
Depth of cut $d$		3 $\mu\text{m}$
Feed rate $f$		3 $\mu\text{m}/\text{rev}$
Spindle speed		1000 rpm
Cutting fluid		Mist

E) で測定した。ここで切削抵抗, AE のエンベロープ信号, 工具の振動加速度の測定には, 図 1 で示したように, それぞれ切削動力計, AE センサ, 加速度センサを用いた。また切削工具の摩耗はマイクروسコープで, 加工面は目視と走査型白色干渉計(ZYGO)で観察した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 工具摩耗と加工面

マイクروسコープによる工具切れ刃の観察によれば, 工具の摩耗機構は機械的摩耗で, すくい面に摩耗は見られず, 逃げ面の摩耗部は加工面にほぼ平行であった。図 4 は切削距離  $L$  に対する工具逃げ面の摩耗幅  $V_B$  で, 摩耗幅の測定は, 被削材を 2 回, 4 回, 6 回削った後にそれぞれ行った。得られた逃げ面の摩耗幅は, 切削距離にほぼ比例して大きくなった。また図 5 は切削実験終了後の加工面の写真で, 加工面はほぼ全面が鏡面であったが, 外側に近いところでは, 被削材の回転角に対し, 6 回目で切削されたと考えられる箇所と 5 回目以前で切削されたと考えられる面が交互に見られた。また被削材の中心に近いところでは一部に脆性破壊(き裂形)でできた部分が見られた。

#### 3.2 切削抵抗

図 6 は静的切削抵抗の背分力で, 被削材の切削回数をパラメータとして示してあり, 図の横軸は被削材の中心からの距離(半径)  $r$  である。得られた背分力は,

切削回数によらず, 半径  $r$  が大きくなるのに伴って最初は増加するが,  $r$  が 10~20 mm で減少に転じ, その後は単調に減少している。一方, 背分力の大きさは, 切削回数(切削距離)の増加に伴って大きくなっており, 摩耗の進行に伴って背分力は大きくなったと考えられる。図 7 は主分力で, 背分力と同様な傾向は見られるが, 背分力に比べて小さく,  $r$  と切削回数の違いによる明確な差は見られない。

図 8 は, 図 6 で示した背分力の詳細で, 旋盤の主軸(被削材)一回転分の値が示してある。図 8(a)は 2 回目の切削での背分力で, 半径  $r$  によって大きく異なって

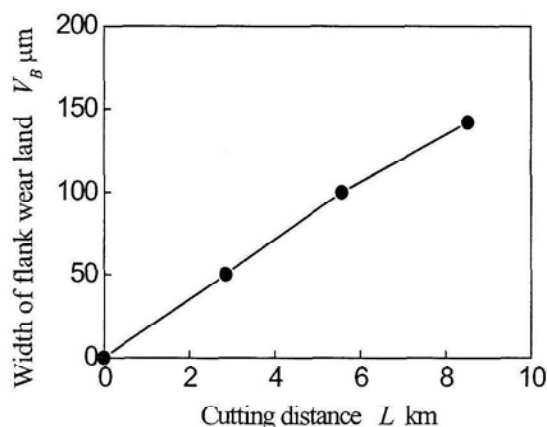


Fig. 4 Width of flank wear land with progress of cutting

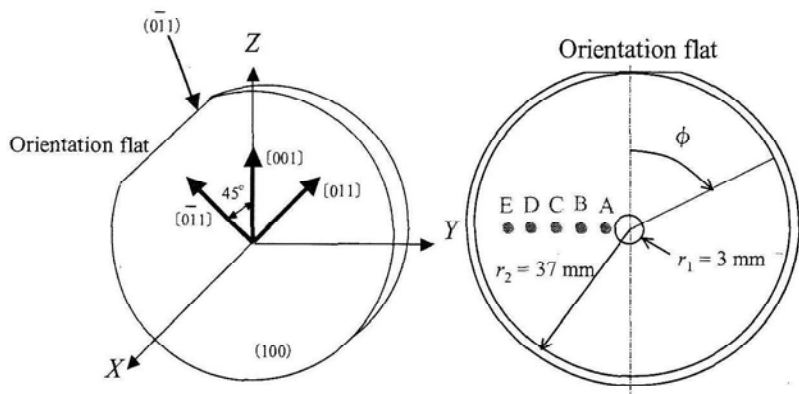


Fig.2 Crystal face and orientation

Fig.3 Measuring points

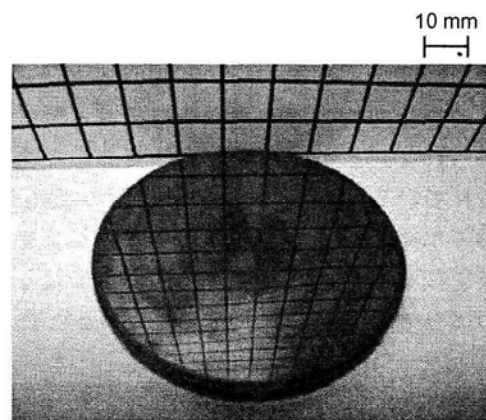


Fig.5 Photo of machined surface

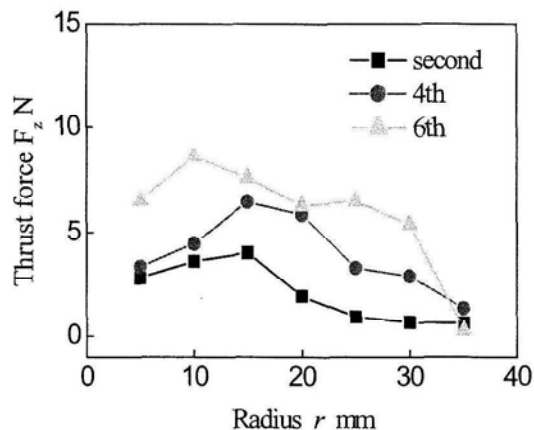


Fig.6 Static thrust force

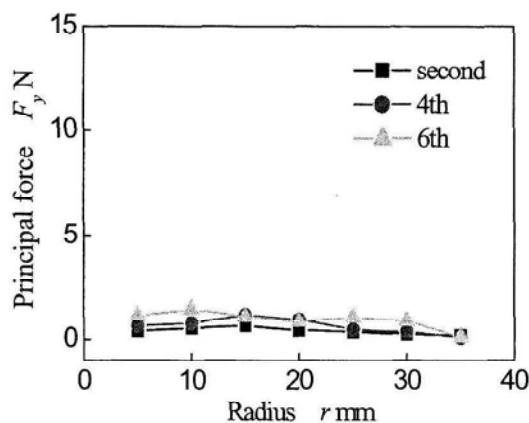


Fig.7 Static principal force