

PCDマイクロドリル 特徴と加工事例

脆性材・難削材の微小径穴加工

北京ワールドダイヤ ^{りゅう れんとう} 劉連東 [翻訳: 京二 ^{しょう かんりん} 庄瀚林]

5G時代において、電子部品の小型化、精密化、高速化、高信頼化の方向への進展に伴い、単結晶シリコンや精密セラミックスなどの材料が半導体分野で広く使用されている。さらに、加工部品の精密化・小型化の進展により、微小径穴の精密加工がますます注目されている。微小径穴は共通の微細構造としてさまざまな部位に広く存在しており、いかに高精度・高能率・高品質な加工を実現するかが工具メーカーの技術力の見せどころである。



PCDマイクロドリル

よく知られているように、ダイヤモンドは天然鉱物のなかで最も硬度が高く（モース硬度は10）、圧縮強度や、耐摩耗性にも優れ、摩擦係数が小さく、熱伝導率が高いなどの特徴がある。優れた耐酸性および耐アルカリ性、非鉄金属および非金属材料との親和性が低いなどの優れた特性を備えたダイヤモンドのこれらの独自の特性を使用して、当社は高精度の「PCDマイクロドリル」を開発した。高硬度と高耐摩耗性の特徴があり、加工中に理想的な穴あけ速度と寿命を簡単に得ることができ、硬くて脆い材料の微細穴加工のニーズを満たす。

PCDマイクロドリル

当社の PCD マイクロドリル は、主に硬くて

脆い材料の穴あけ用であり、半導体、航空宇宙、通信電子機器、家電、自動車用電子機器、医療機器などの分野にて使用されている。刃径はφ0.1～φ3.0 mm、L/Dは最大で51D、製造精度は5μm以内に達する。

機械加工の分野では、組立工程で穴加工が必要な部品がほとんどであり、一般的に部品全体の加工工数の20～30%を穴加工が占めている。微小径穴加工の難点は切りくず排出や切削放熱、切削液注入のしづらさ以外に、被削

材の硬度は非常に高く、L/Dが大きく（通常は10以上）、精度の制御が困難であること、工具寿命の短さや、穴出口のチッピングやひび割れも発生しやすい。また、穴加工は完成品に近い状態で実施するのが多いため、性能の高い穴あけ工具の需要が高い。

本工具は、これらの問題点に狙いを定め、現在、単結晶シリコン、多結晶シリコン、アルミニウムベース炭化ケイ素、炭化ケイ素、窒化ケイ素、ジルコニアセラミックス、アルミナセラミックス、石英ガラス、グラファイト、チタン合金などの高硬度で脆いワークに使用されている。

特徴

PCD マイクロドリルの特徴は次の通りである。

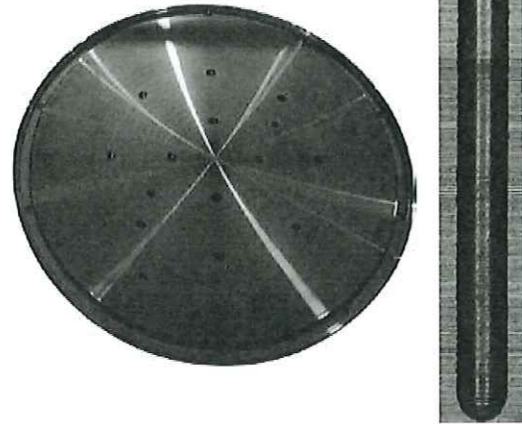


写真1 単結晶シリコンガススプレープレートの微小径深穴加工

①ドリル先端は、高硬度と耐摩耗性を備えたソリッドPCDであり、硬くて脆いワークの穴あけに適する。

②非鉄金属材料や、無機非金属材料の加工にも使用でき、穴径が均一で穴位置の高精度加工。

③超硬マイクロドリル製品と比較して、PCDマイクロドリルは仕上げ面が優れる。

同時に、当社は、さまざまなワーク材質特性に対してより適切な製品を推奨している。

加工事例

ここでは、次に挙げる被削材に対する‘微小径穴加工’について取り上げる

- ・単結晶シリコン
- ・炭化ケイ素
- ・アルミナセラミックス
- ・ジルコニアセラミックス
- ・石英ガラス
- ・グラファイト
- ・チタン合金

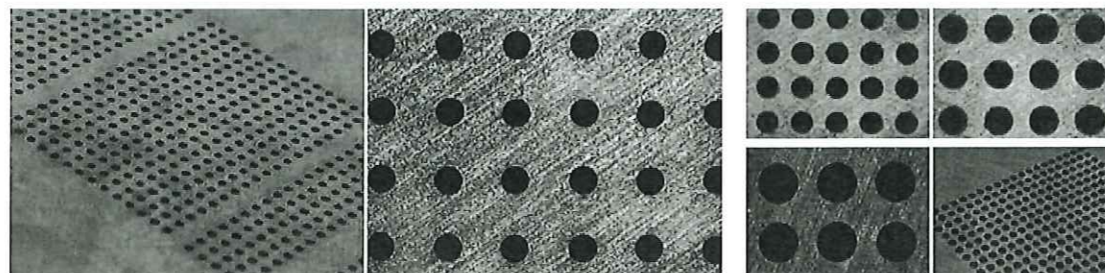


写真2 単結晶シリコン加工の部分拡大

(1)単結晶シリコンガススプレープレート

半導体産業は付加価値の高い製造業に属し、現代の電子情報産業の基盤として、国民経済の質の高い発展を支える重要な産業である。PCDマイクロドリルは、半導体産業におけるガススプレープレートの重要な消耗品であり(エッチングマシンのコアコンポーネントの一つ)、その部品の加工には、製品の加工精度と表面品質に対する非常に厳しく、PCDマイクロドリルが活躍できる現場である。

[事例1]

微小径深穴加工(写真1)

被削材：単結晶シリコン(純度11N)

ワーク表面硬度：50 GPa

穴径：φ 0.39

穴深さ：10.5 (L/D 26.9:1)

PCDマイクロドリル型式

：WZ3 φ 0.39 × 11.5 × SD3.175 × L45 × 130°

・加工上の難点

①工具寿命が短い

②L/Dが大きく、穴の加工精度と面粗度の管理がむずかしい

・採用された理由

①良好な真円度、穴径安定性(公差 < 10 μm)

②穴壁の品質が高く、Ra = 0.1 μm以下を実現可能

③工具寿命は2000穴以上、連続で安定使用が可能

[事例2]

単結晶シリコン止り穴の仕上加工(写真2)

被削材：単結晶シリコン(純度11N)

穴径：φ 0.48

穴深さ：21 (L/D 43.75:1)

加工方法：止り穴の仕上加工

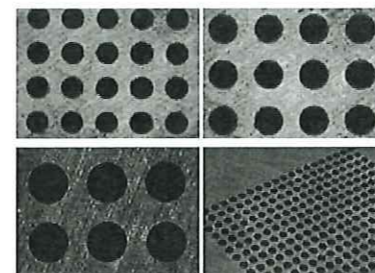


写真3 炭化ケイ素の微小径加工

PCDマイクロドリル型式

：WZ3 φ 0.48 × 22 × SD3.175 × L65 × 130°

・加工上の難点:

①工具寿命が短い

②L/Dが大きく、穴の加工精度と面粗度の管理がむずかしい

・採用された理由

①穴入口チッピング < 0.025 mm, 寸法精度 < 0.01 mm

②穴壁の品質が高く、Ra = 0.1 μm以下を実現可能

③工具寿命が高く、400穴以上の連続安定加工を実現

(2)炭化ケイ素ガススプレープレート

単結晶シリコン材料(モース硬度7)と比較して、炭化ケイ素は硬度が高く、モース硬度は9.5(ダイヤモンドに次ぐ)と高く、炭化ケイ素スプレープレートの耐用年数は単結晶シリコンよりも長い。現在、半導体ウェーハエッチングマシンのガススプレープレートは単結晶シリコンから炭化ケイ素に切り替える傾向がある。

しかし、炭化ケイ素材料の硬度が非常に高く、穴のL/Dは10以上が必要になるため、工具のチッピングが発生しやすく、工具寿命が短い。当社は炭化ケイ素穴加工向けに開発した「WZ-Xシリーズ」によりこの問題を解決する(写真3)。

被削材：炭化ケイ素(純度5N)

ワーク表面硬度：2000HV

穴径：φ 0.5 / φ 1.0

穴深さ：5.0/6.7

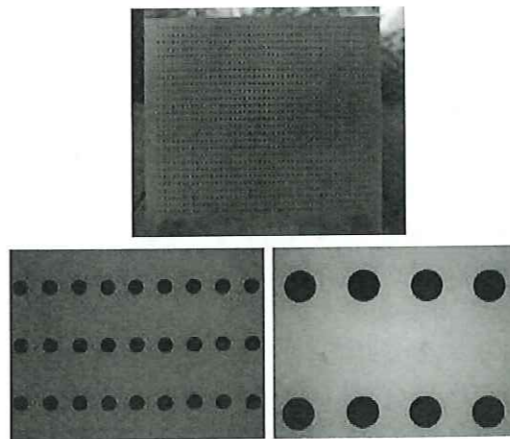


写真4 アルミナセラミックスの微小径穴加工

PCDマイクロドリル型式

：WZ-X φ 0.5 × 7 × SD3.175 × L38.1 × 130°

WZ-X φ 1.0 × 8 × SD3.175 × L38.1 × 130°

・採用された理由

①穴出口にチッピングがなく、穴壁面粗度がRa 0.1以下である

②200穴以上の安定加工を実現

(3)アルミナセラミックス(写真4)

被削材：99アルミナセラミックス

硬度：80~90 HRA

穴径：φ 0.8

穴深さ：9.5

工具寿命：穴数600以上

PCDマイクロドリル型式

：WZ2シリーズ φ 0.8 × 13.5 × SD3.175 ×

L45 × 130°

・加工上の難点

①セラミック材料の硬度と脆性は非常に高く、穴あけ後ひび割れがなく、穴壁の高い面粗度が必要である

②工具寿命が短い

・採用された理由

①ひび割れがない

②穴の真円度が良好、寸法精度 < 10 μm

③寿命は超硬マイクロドリルの10倍以上、安定性も良好である

(4)ジルコニアセラミックス(写真5)

被削材：ジルコニアセラミックス

モース硬度：9.0

穴径：φ 0.5

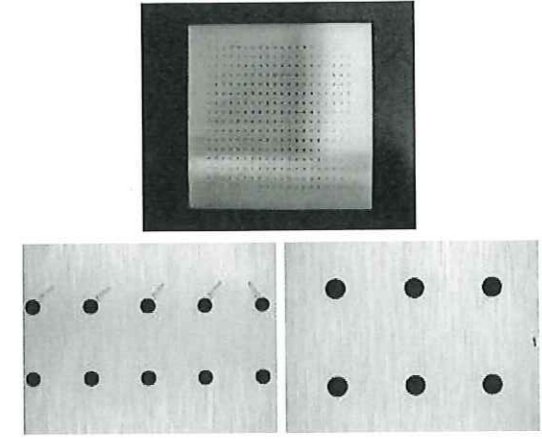


写真5 ジルコニアセラミックスの微小径穴加工

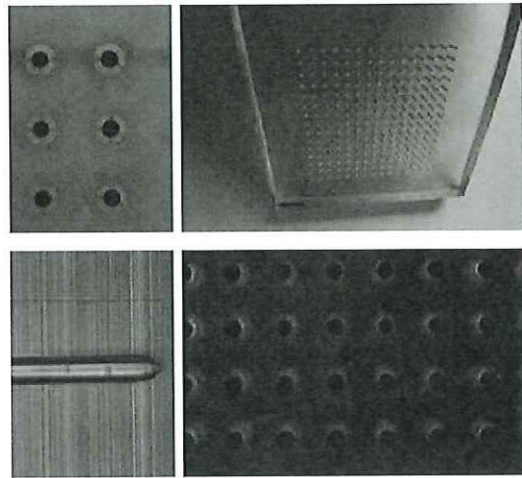


写真6 石英ガラスの微小径穴加工

- 穴深さ：4.5
PCD マイクロドリル型式
：WZ2 シリーズ $\phi 0.5 \times 6 \times SD3.175 \times L38.1 \times 130^\circ$
- 加工上の難点
 - ①穴出口にチッピングやひび割れが発生しやすい
 - ②摩耗により穴精度が低くなる
 - ③加工能率が低く、工具寿命が短い
 - 採用された理由
 - ①穴欠け $< 20 \mu\text{m}$ 、ひび割れがなく、穴径の公差 $< 10 \mu\text{m}$
 - ②加工能率が高く、1穴あたり加工時間 123 s
 - ③ 200穴以上の安定した高能率加工を実現

(5) 石英ガラス (写真6)

被削材：石英ガラス
ワークモース硬度：7
穴径： $\phi 0.455$
穴深さ：6.0

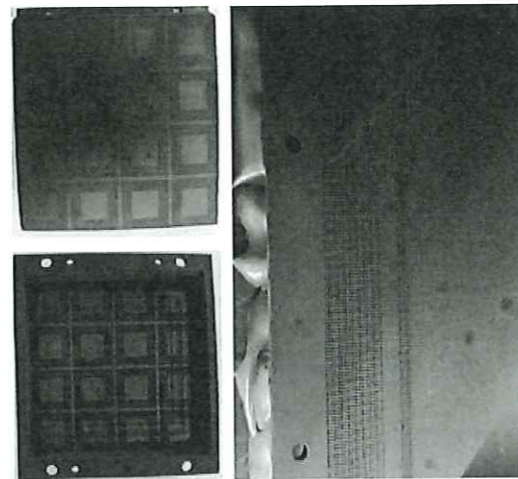


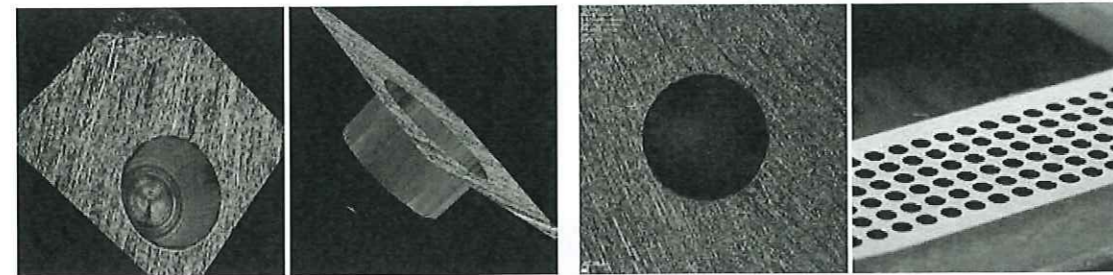
写真7 グラファイトの微小径穴加工

- PCD マイクロドリル型式
：WZ2 $\phi 0.45 \times 7 \times SD3.175 \times L38.1 \times 130^\circ$
- 加工上の難点
 - ①穴出口にチッピングしやすい
 - ②加工能率が低い
 - 採用された理由：
 - ①小さなチッピングがあるが、すべて $50 \mu\text{m}$ 未満
 - ②加工能率がよく、1穴あたり加工時間 88 s

(6) グラファイト (写真7)

被削材：グラファイト LTD-8
ショア硬度：70 HSD
穴径： $\phi 0.12$
穴深さ：0.5
PCD マイクロドリル型式
：WZ1 シリーズ $0.12 \times 1.5 \times SD3.175 \times 38.1 \times 120^\circ -1$

- 加工上の難点：
 - ①穴垂直性の精度が厳しい



(a)イメージ

(b)実加工

写真8 チタン合金加工の微小径穴加工

②一枚の基板に多くの穴があり、高い加工効率が求められる

・採用された理由：

- ①寿命は超硬の10倍以上であり、性能は安定している。
- ②穴径の寸法精度は $\pm 5 \mu\text{m}$
- ③加工速度は超硬マイクロドリルの2~3倍になり、マシニングセンタでの大量、高効率、高精度加工を実現
- ④耐摩耗性が高く、刃が折れにくく、工具交換の回数が減り、効率が向上

(7) チタン合金 (写真8)

チタン合金は、航空機エンジン、胴体部品および、そのほか重要部品などの分野で幅広く使用されている。チタン合金構造部品の組立ては、穴あけやフライス加工など事前に加工する必要がある。

被削材：TC4 チタン合金
加工方法：止り穴の仕上加工
穴径： $\phi 0.88$
穴深さ：2.29

PCD マイクロドリル型式
：XZ シリーズ $\phi 0.88 \times 3 \times SD4 \times L70 \times 140^\circ -2.7$

- 加工上の難点
 - ①チタン合金の熱伝導率は低く、加工中に工具の温度が非常に高くなり、刃先が急激に摩耗し、寿命が短くなる
 - ②チタン合金は比熱が小さいため、加工時に温度が急激に上昇しやすく、加工部が高温になり、溶着や工具摩耗が激しく、穴出口のバリも発生しやすい

・採用された理由

- ①超硬製品と比較して、当社の PCD マイクロドリルの寿命は6倍以上
- ②バリが非常に小さく、面粗度が良好である
- ③穴の真円度と寸法精度は $< 0.01 \text{ mm}$ で良好である
- ④高能率加工が実現でき、1穴あたり加工時間は 3.5 s 以内
- ⑤独自の刃先設計により、切りくず処理能力が優れ、構成刃先がない