

2024年8月6日開催

単結晶ダイヤモンドの 高能率・高精度加工方法



熊本大学

大学院先端科学研究部

産業基盤部門

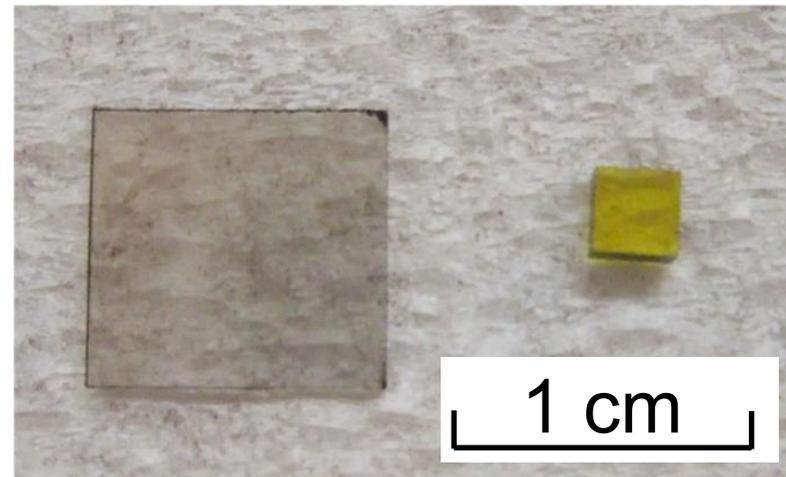
准教授 久保田 章亀

研究背景

ダイヤモンドは、物理的、機械的、熱的、電気的特性に非常に優れた材料特性を有しており、切削工具や研磨用砥粒、光学部品、超硬合金型の代替型など、さまざまな分野で利用されている

応用先

- 切削工具・研磨工具
- 光学部品
- 半導体デバイス
- 放熱デバイス
- 量子センサー

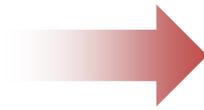


CVD基板と
高温高压 (HPHT) 合成基板

ダイヤモンドの加工方法

- ダイヤモンド砥粒を用いたラッピング(スカイフ加工)

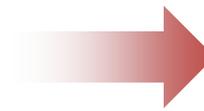
機械的・熱的破壊を通じて
材料を除去する



クラックや転位を含んだダメージ
層の形成が避けられない

- レーザー加工

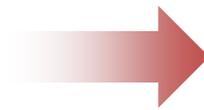
局部的に加熱し、ダイヤモンドを構成する炭素を炭酸ガス化して除去する



熱的加工であるため、表面へのダメージが大きい

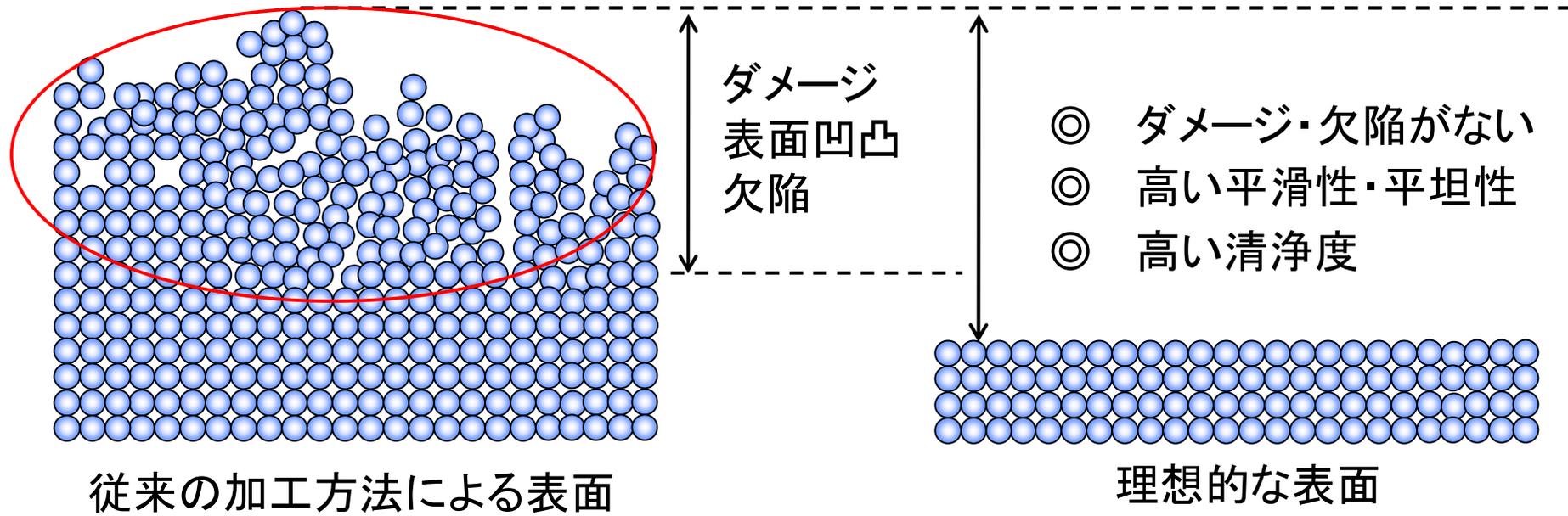
- イオンビーム加工

アルゴンなどのイオンを照射することでダイヤモンドを構成する炭素原子を除去する



物理的加工であるため、表面凹凸やダメージが残る

求められる表面精度



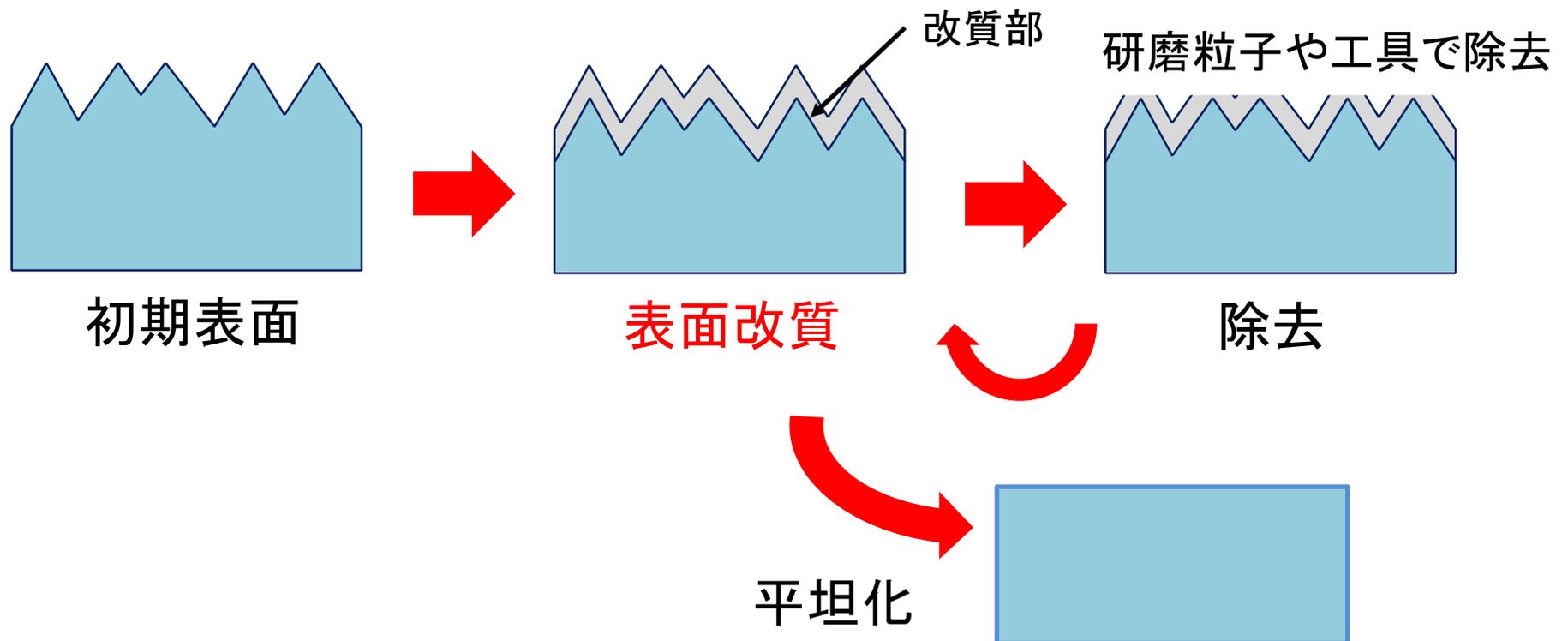
結晶構造が維持された
原子レベルで平滑・平坦なダイヤモンド表面を
高能率に作製できる新しい加工法の開発が必要

加工プロセスの開発指針

高硬度かつ化学的に安定なダイヤモンドを
高能率・高精度に加工するためには…

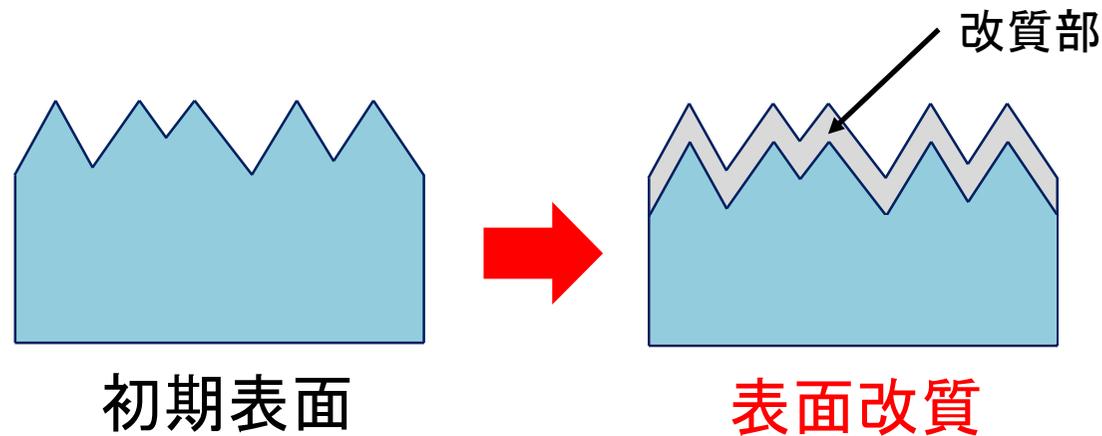


表面改質(軟質化)しながら研磨する



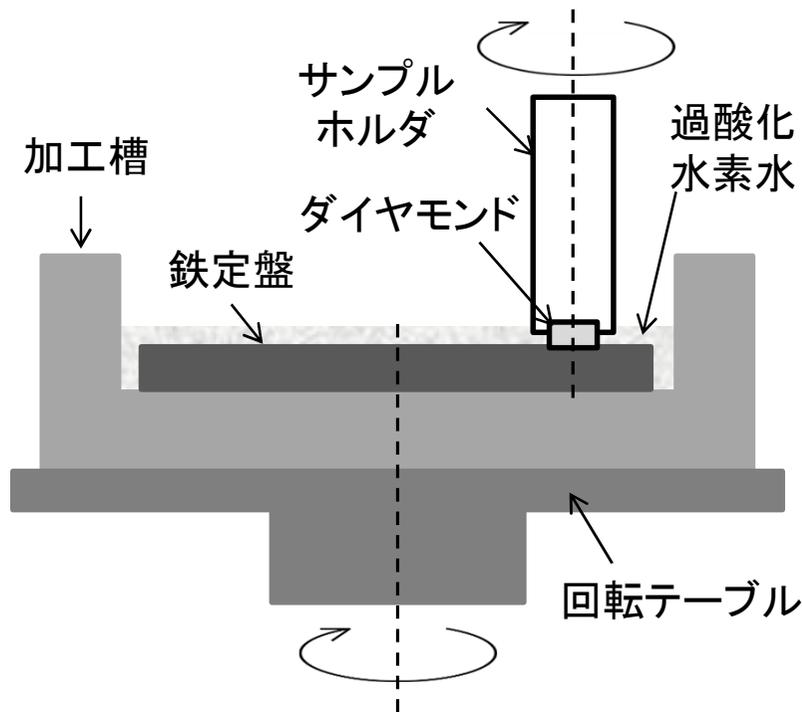
代表的な表面改質方法

- ウェット
 - 薬品による表面改質(酸化)
 - 電気化学を利用した表面改質
 - 触媒作用を利用した表面改質
- ドライ
 - 加熱による表面改質
 - プラズマ照射による表面改質
 - 紫外線照射による表面改質
 - トライボケミカル反応による表面改質

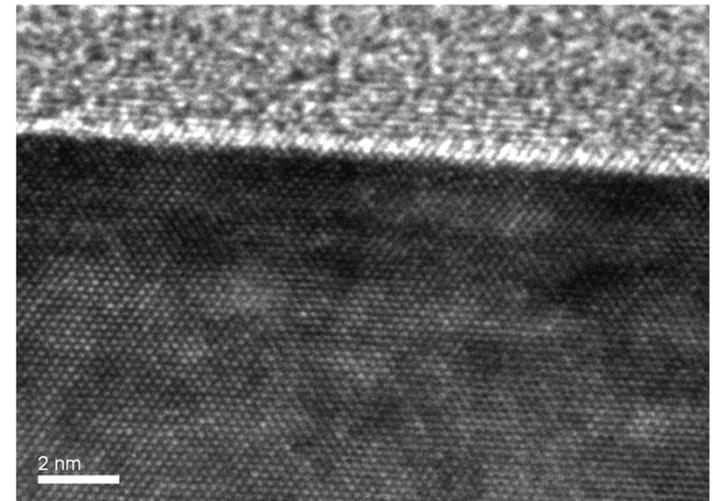


【紹介】 これまでの研究内容

過酸化水素水溶液中において遷移金属触媒表面上で生成される化学的に非常に活性な反応種であるOHラジカル(hydroxyl radical)を被加工物と反応させ、ダイヤモンドの最凸部を化学的に表面改質して加工しやすくし、改質された領域を除去・エッチングすることによって表面を化学的に除去する平坦化加工法を開発



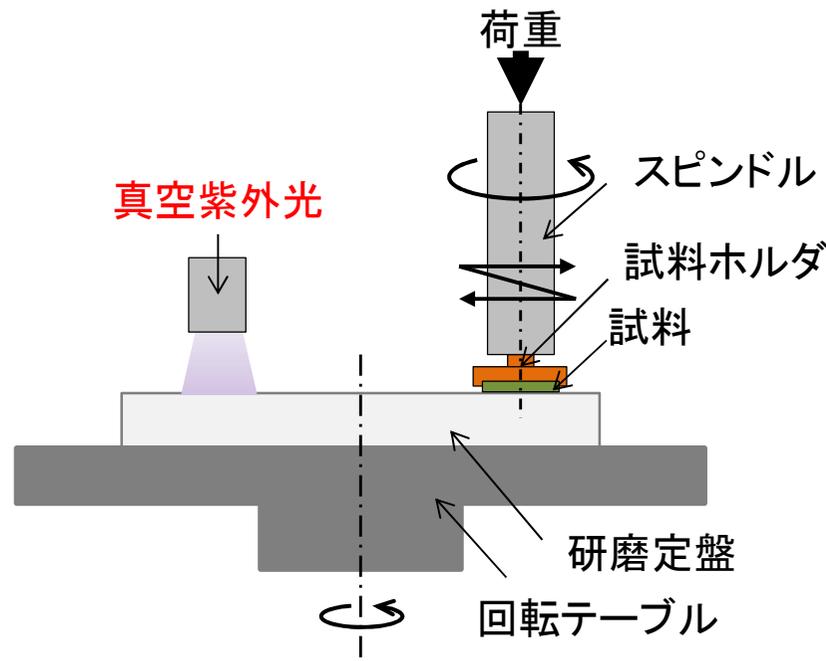
研磨装置の概念図(特許4873694号)



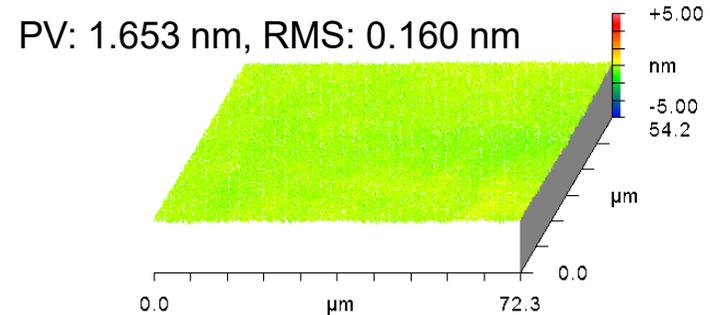
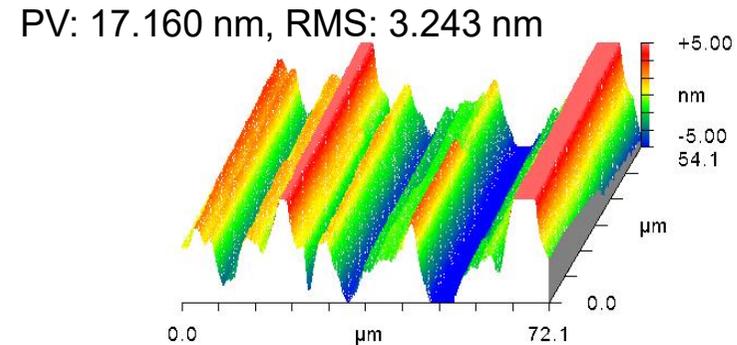
TEMによるダイヤモンド表面の観察像

【紹介】 これまでの研究内容

研磨定盤表面上から**真空紫外光を照射**し、研磨定盤表面とダイヤモンド基板表面間での摩擦化学反応を促進・利用する研磨法を開発



研磨装置の概念図(特許第6145761号)



加工前後(1.5 h後)のダイヤモンド表面像

- | | |
|---------------|-----------------|
| ✓ 砥粒やスラリーを不使用 | → 低コスト化 |
| ✓ 湿式から乾式へ | → 化学反応促進・加工能率向上 |
| ✓ 装置構成がシンプル | → 既存装置に組み込み可 |

従来技術とその問題点

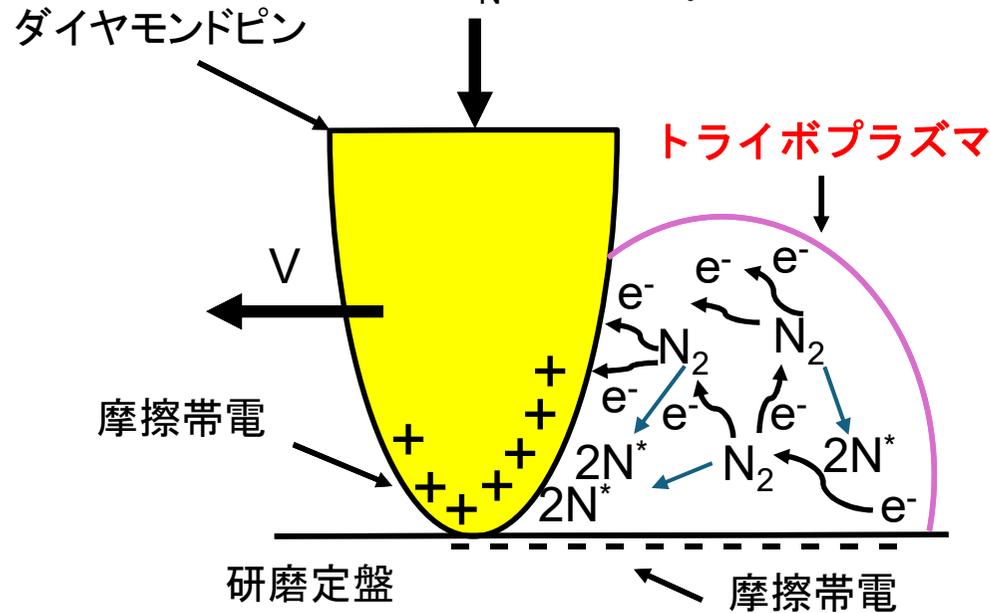
ダイヤモンドの加工においては

- 硬脆材料のため、割れやすく、高精度面の作製が困難
- 加工能率が低い(加工費の高コスト化)
- 高プロセスパラメーター(高荷重・高回転数)が必要
- 高エネルギーが必要
- 高価な設備(真空装置、排気装置)が必要

などの問題がある

新技術の基盤となる現象

F_N K. Nakayama, et.al. Vacuum, 74 11-17 2004 を参考に作成

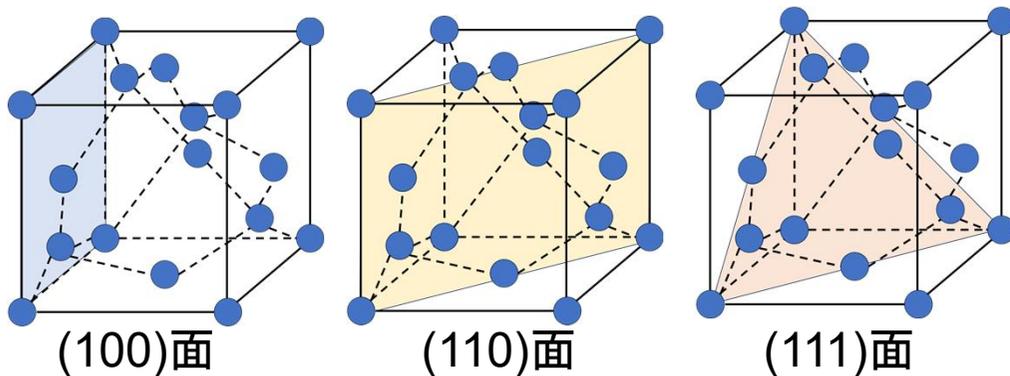


トライボプラズマの概念図



大気環境下における固体表面間での摩擦によって生成されるトライボプラズマを利用することによって、ダイヤモンドの高エネルギー加工を実現できるのではないかと考えた

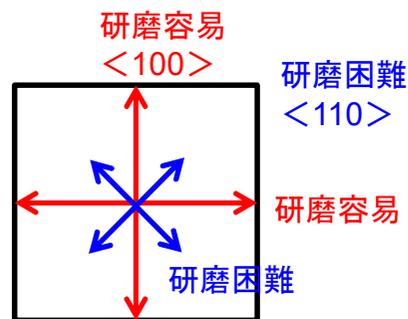
単結晶ダイヤモンドの耐摩耗性



ダイヤモンド構造

表 結晶面と摩耗困難/容易方向

結晶面	摩耗困難	摩耗容易
(100)	$\langle 110 \rangle$	$\langle 100 \rangle$
(110)	$\langle 110 \rangle$	$\langle 100 \rangle$
(111)	$\langle 112 \rangle$	$\langle 112 \rangle$



ダイヤモンド(100)面

ダイヤモンドの結晶方位
と耐摩耗性

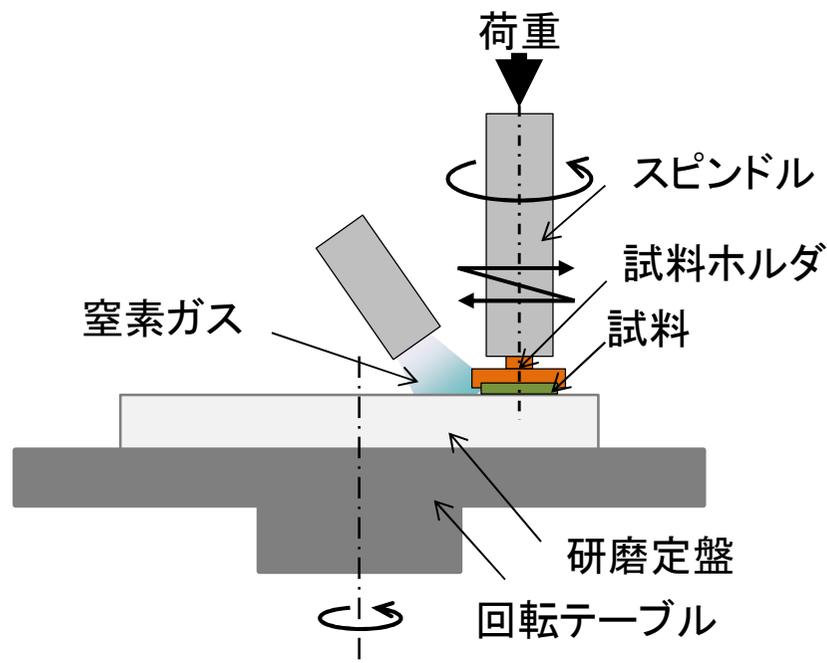
表 摩耗量の比較

工具	$\langle 110 \rangle$	$\langle 100 \rangle$
メタルボンドダイヤモンド砥石	1	20
石英砥石	1	4

N. Tatsumi et.al. Diamond and related materials 63 (2016)80-85をもとに作成

➡ 結晶方位により耐摩耗性が異なることを加工に利用

加工装置の概念図と実験条件例



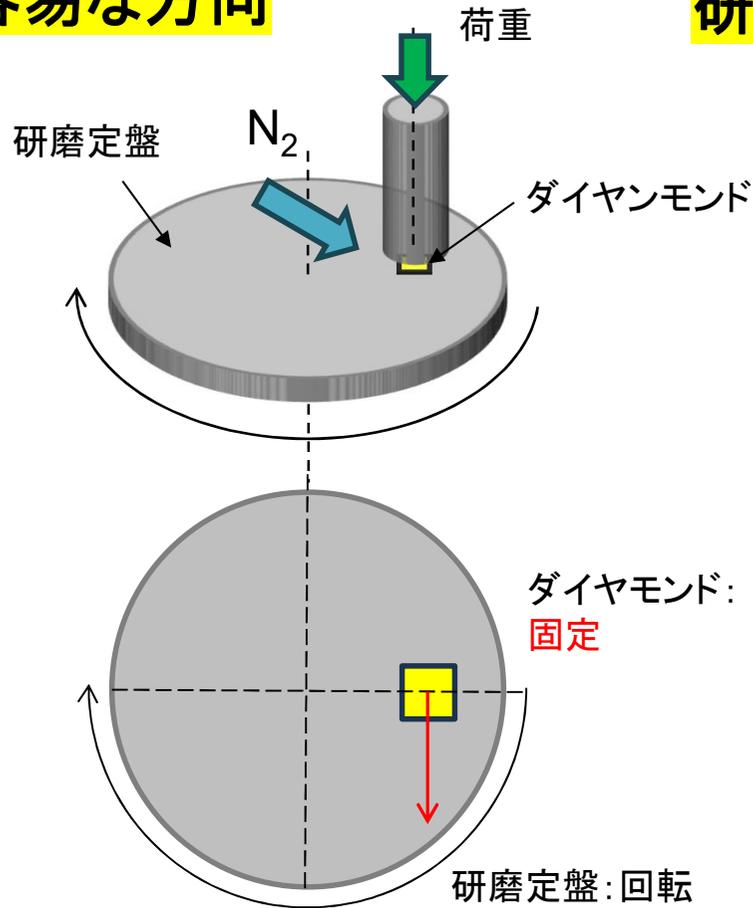
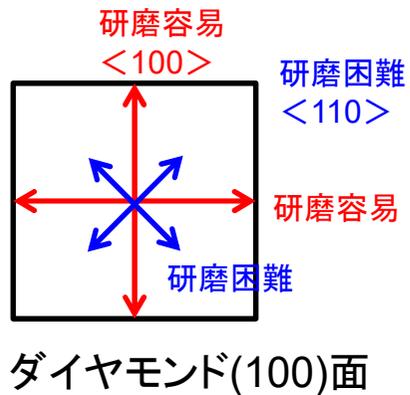
トライボプラズマ援用研磨装置
の概念図

実験条件

基板	単結晶ダイヤモンド1b(100)
基板サイズ	3 mm × 3 mm × 1.5 mm
圧力	10 N
研磨定盤	合成石英
回転速度(研磨定盤)	937.5 rpm
回転速度(サンプル)	0 rpm / 937.5 rpm
ガス	N ₂
ガス供給速度	5 L/min
加工時間	5 min / 20 min

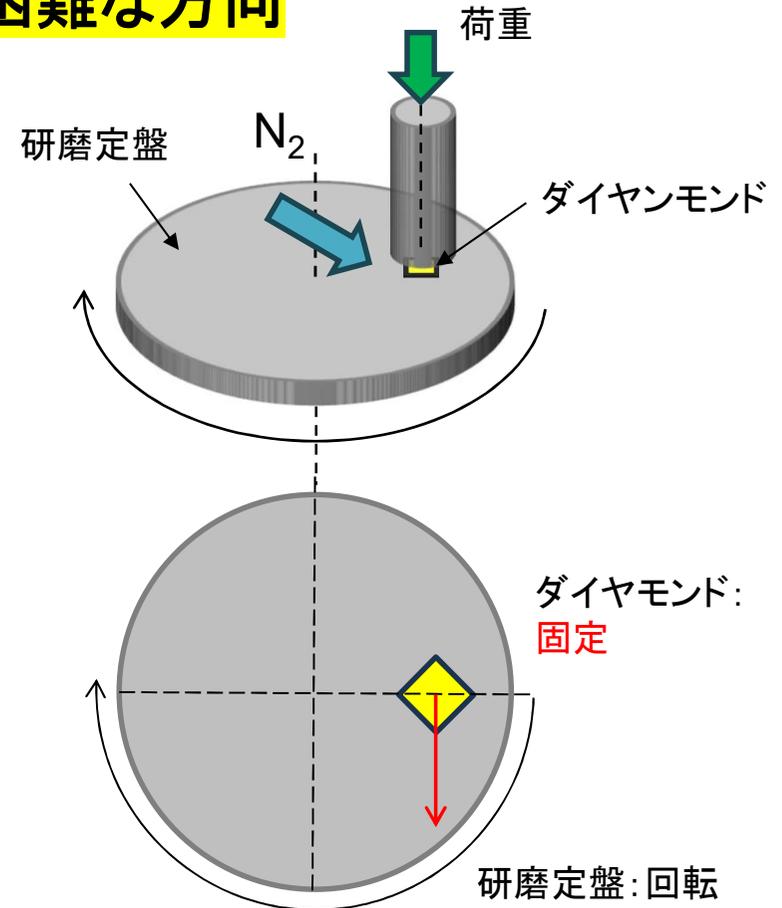
研磨容易な方向<100>と研磨困難な方向<110>

研磨容易な方向



<100>方向に相対運動

研磨困難な方向

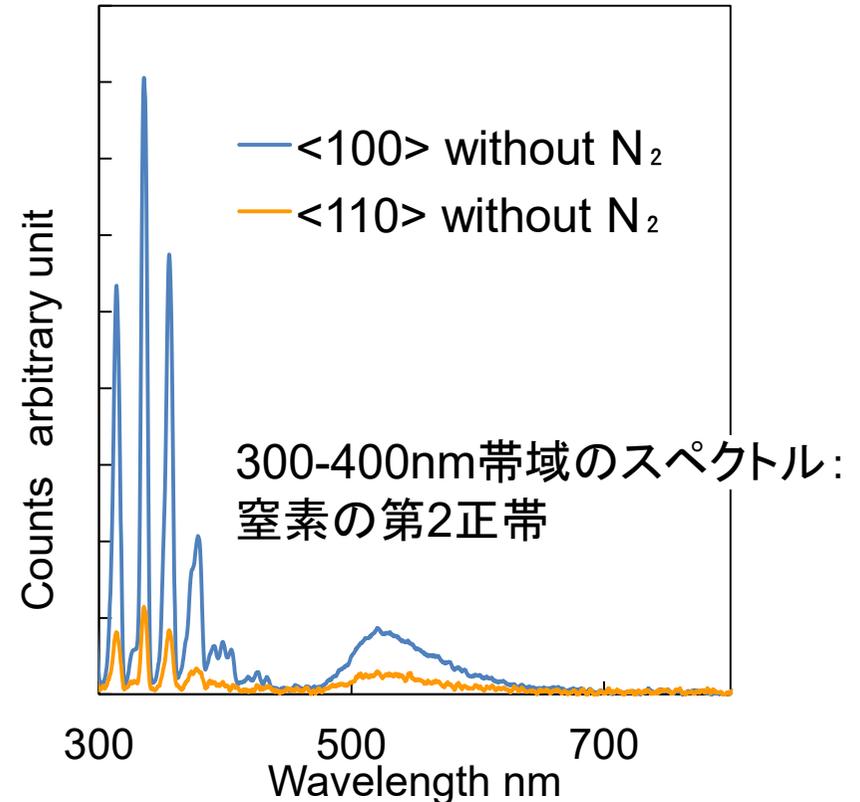
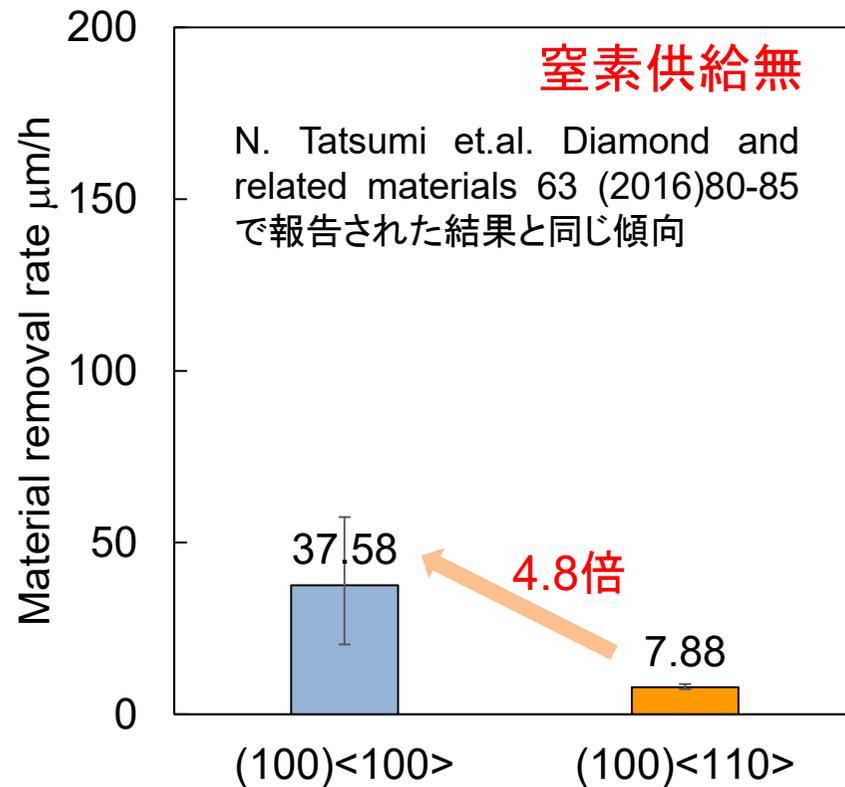


<110>方向に相対運動

➡ 窒素供給の有無, <100>と<110>方向の摩耗特性を評価

窒素供給無による

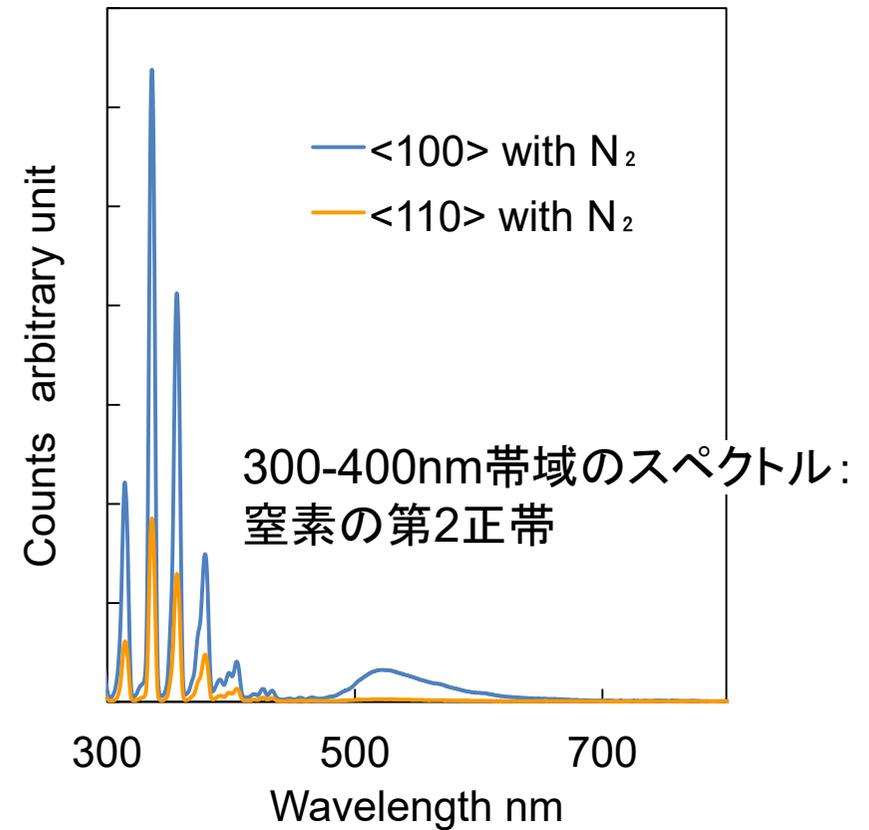
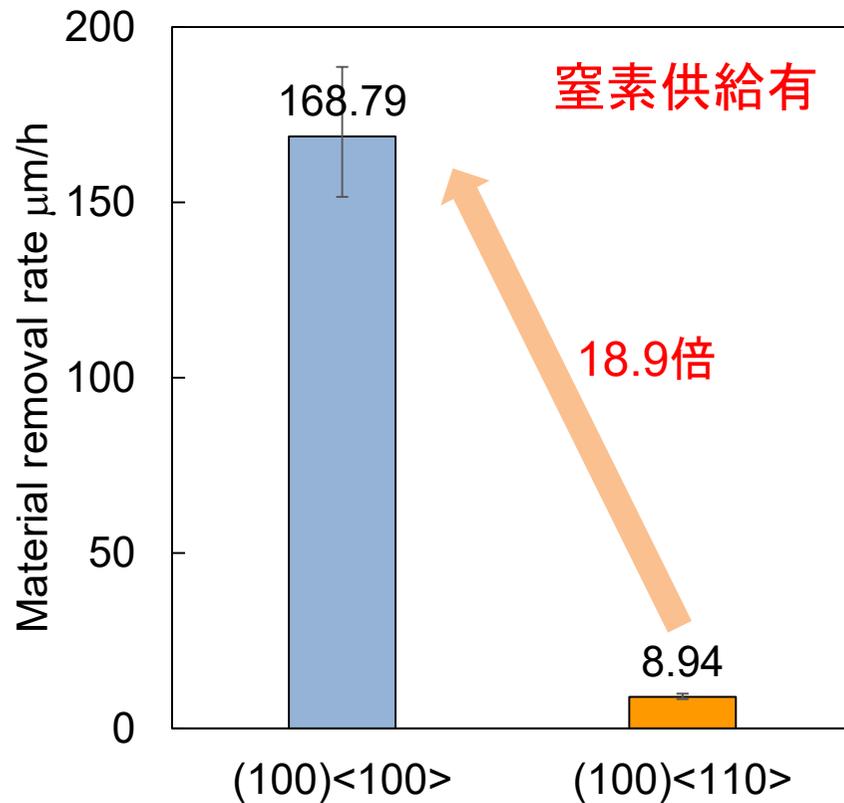
結晶方位と摩耗速度の関係(サンプル固定)



窒素供給無において、石英定盤を研磨容易方向((100)<100>)に相対運動させると、ダイヤモンドの摩耗量、発光強度が増加。(先行研究の結果とも傾向が概ね一致)

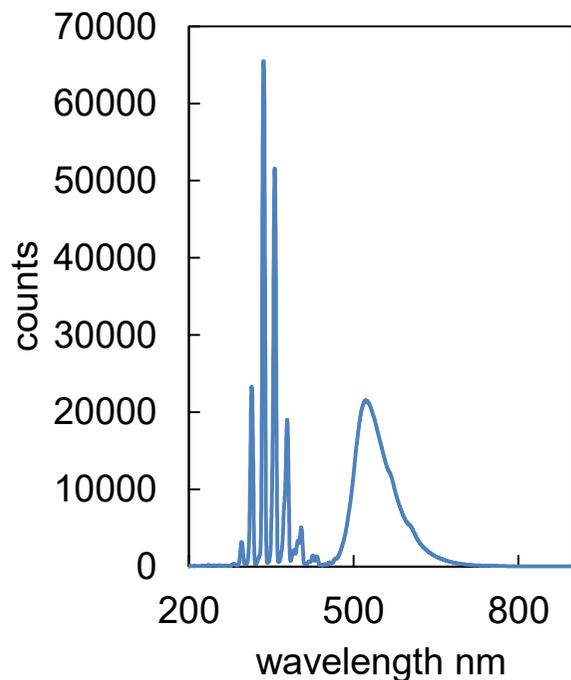
窒素供給有による

結晶方位と摩耗速度の関係 (サンプル固定)

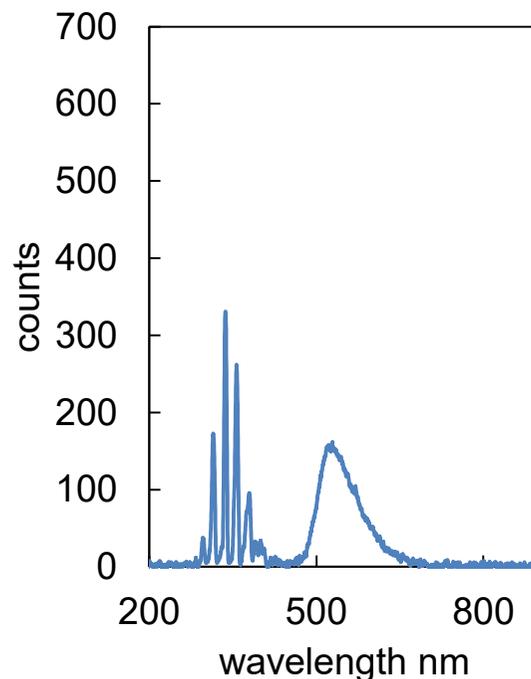


窒素供給有において、石英定盤を研磨容易方向((100)<100>)に相対運動させると、ダイヤモンドの摩耗量が劇的に増加。

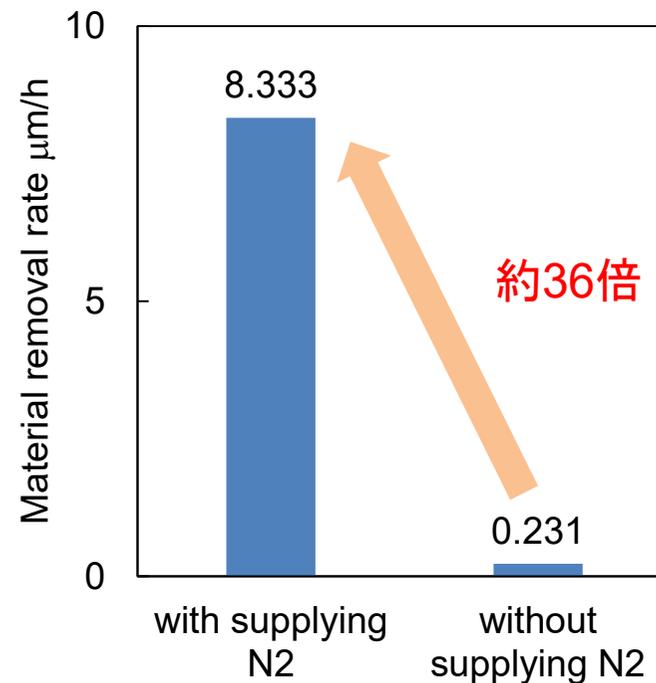
窒素供給有無と加工能率（サンプル回転）



(a) 窒素供給有

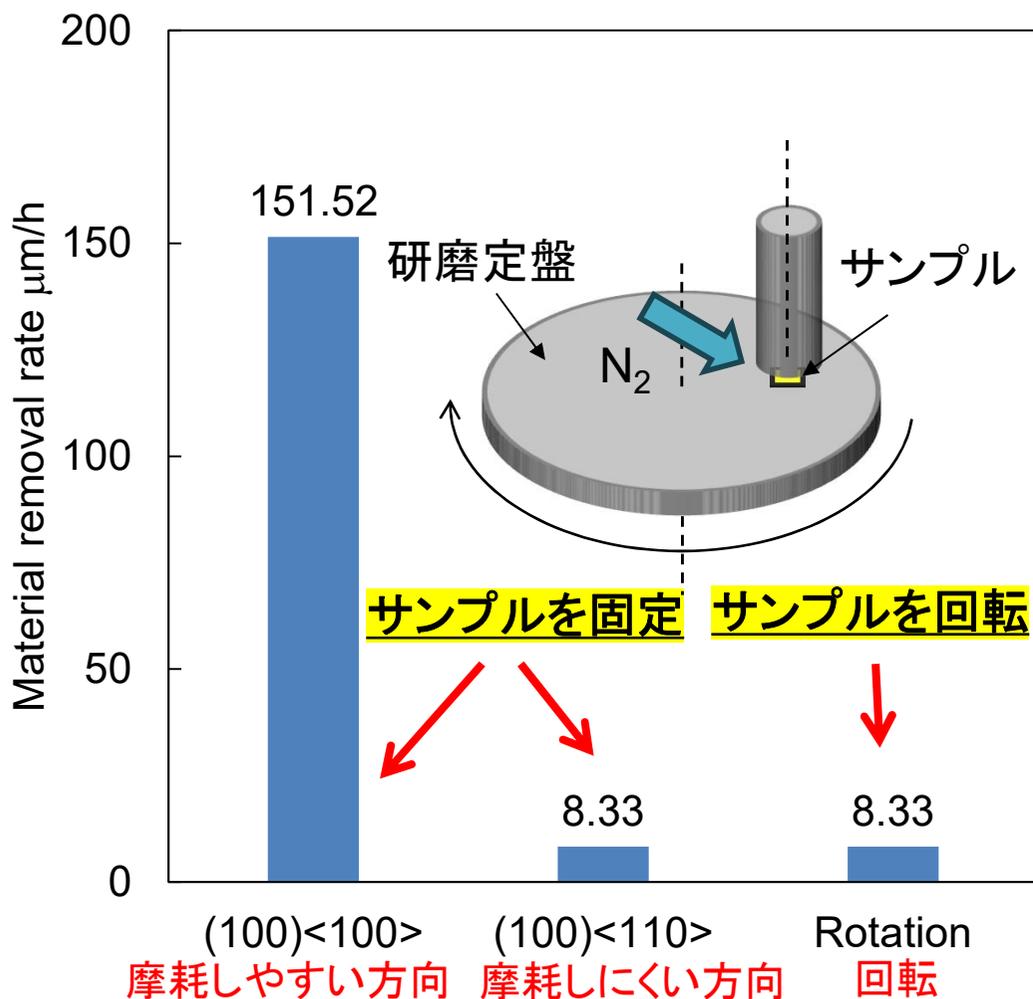


(b) 窒素供給無

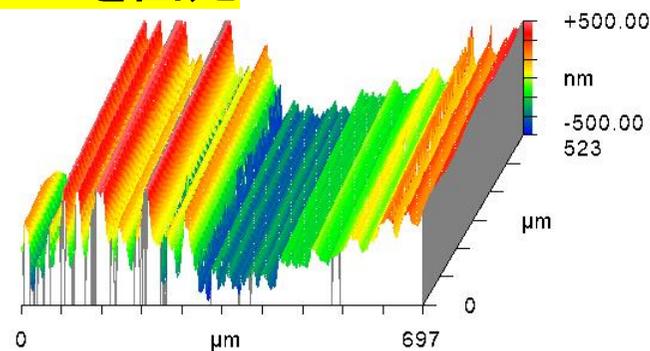


サンプルを回転させながら加工した場合も
摩耗速度の増加を確認
しかし、サンプル固定して加工した場合より
摩耗速度が低い

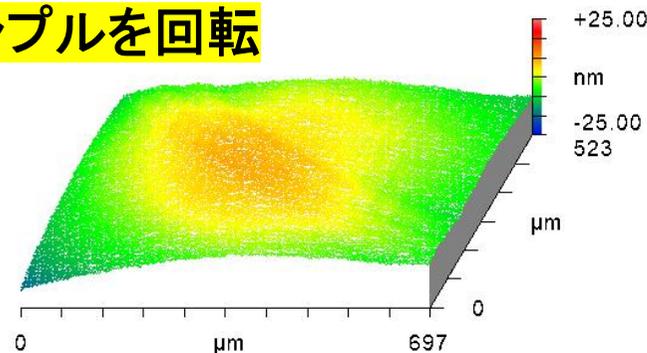
窒素供給有のサンプル固定/回転時の 加工能率/表面粗さ



サンプルを固定

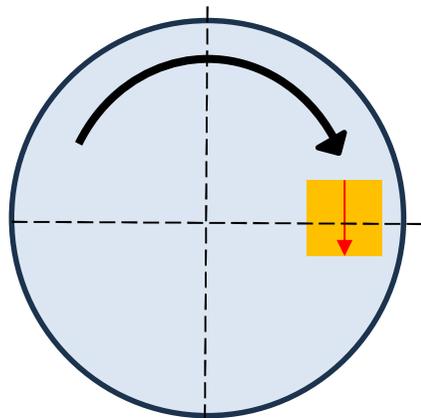


サンプルを回転



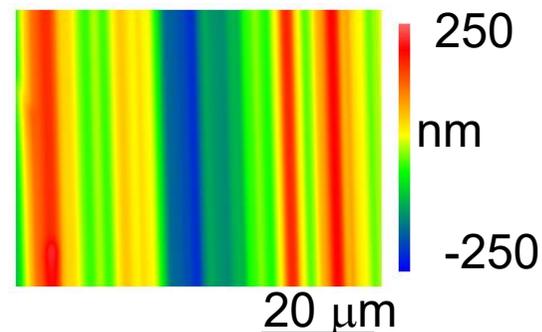
2段階研磨による高効率・高精度加工

第一段階



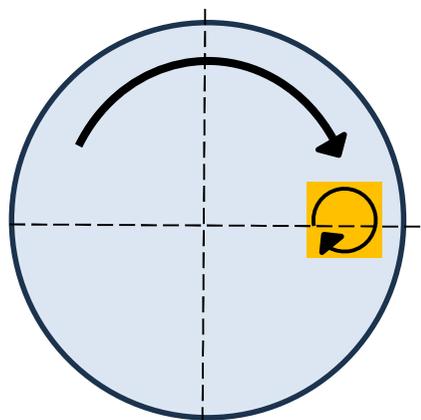
第一段階研磨の条件

圧力	10 N
研磨定盤	合成石英
回転速度(研磨定盤)	937.5 rpm
回転速度(サンプル)	0 rpm
ガス	N ₂
ガス供給速度	5 L/min
加工時間	5 min



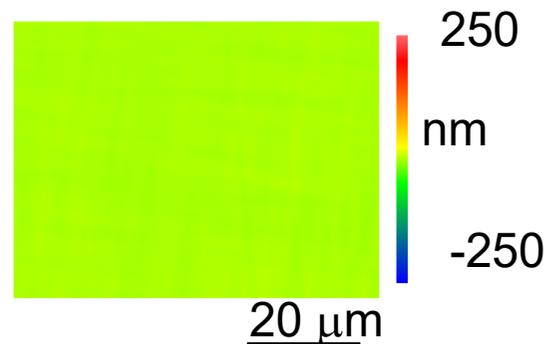
Sz: 434.858 nm
Sa: 80.834 nm
Sq: 101.983 nm

第二段階

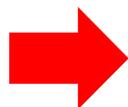


第二段階研磨の条件

圧力	10 N
研磨定盤	合成石英
回転速度(研磨定盤)	937.5 rpm
回転速度(サンプル)	937.5 rpm
ガス	N ₂
ガス供給速度	5 L/min
加工時間	20 min



Sz: 8.550 nm
Sa: 0.793 nm
Sq: 1.000 nm



短時間(25分)でSa<1 nmを実現

新技術の特徴・従来技術との比較

- 研磨スラリーや化学薬品を用いずに加工が可能
- 真空装置, 排気装置を用いずに加工が可能
- 外部から高エネルギーを導入せずに加工が可能
- ダイヤモンドと研磨定盤の接触部近傍に窒素ガスを供給するだけで高効率な加工が可能
- ダメージを導入することなく, 加工が可能

想定される用途

- 結晶成長直後の結晶凹凸の高効率除去・平坦化
- ダイヤモンドパワー半導体基板表面の平坦化
- ダイヤモンド放熱基板の平坦化
- 単結晶ダイヤモンド製切削工具の刃先鋭利化
- 研削砥石の刃先ツルイーイング・トランケーション

実用化に向けた課題

- ダイヤモンド基板の大口径化に向けた加工装置の試作と加工特性の評価
- 切削工具の刃先鋭利化、研削砥石のツルイーニング・トランケーションを実現するための加工装置の試作・自動化の検討

企業への期待

- ダイヤモンドの合成・製造技術を持つ企業
 - ダイヤモンドの加工に課題を持つ企業
 - 加工装置の実用化・自動化に興味を持つ企業
 - 切削工具や研削工具の製造技術を持つ企業
- との共同研究を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 加工方法及び加工装置
- 出願番号 : 特願2024-31251
- 出願人 : 熊本大学
- 発明者 : 久保田章亀

お問い合わせ先

熊本大学

熊本創生推進機構 イノベーション推進部門

TEL 096-342-3145

e-mail liaison@jimu.kumamoto-u.ac.jp