



産官学連携施設と導入装置の加工例



慶應義塾大学 理工学部
中央試験所 高野 朋幸

発表の流れ



～前半～

産官学連携施設の名称である

「慶應-神奈川ものづくり技術実証・評価センター」について

～後半～

導入装置についてと超精密ナノ加工装置の加工例と結果

平成23年度経済産業省の先端技術実証・評価設備整備等事業

地域企業の活性化



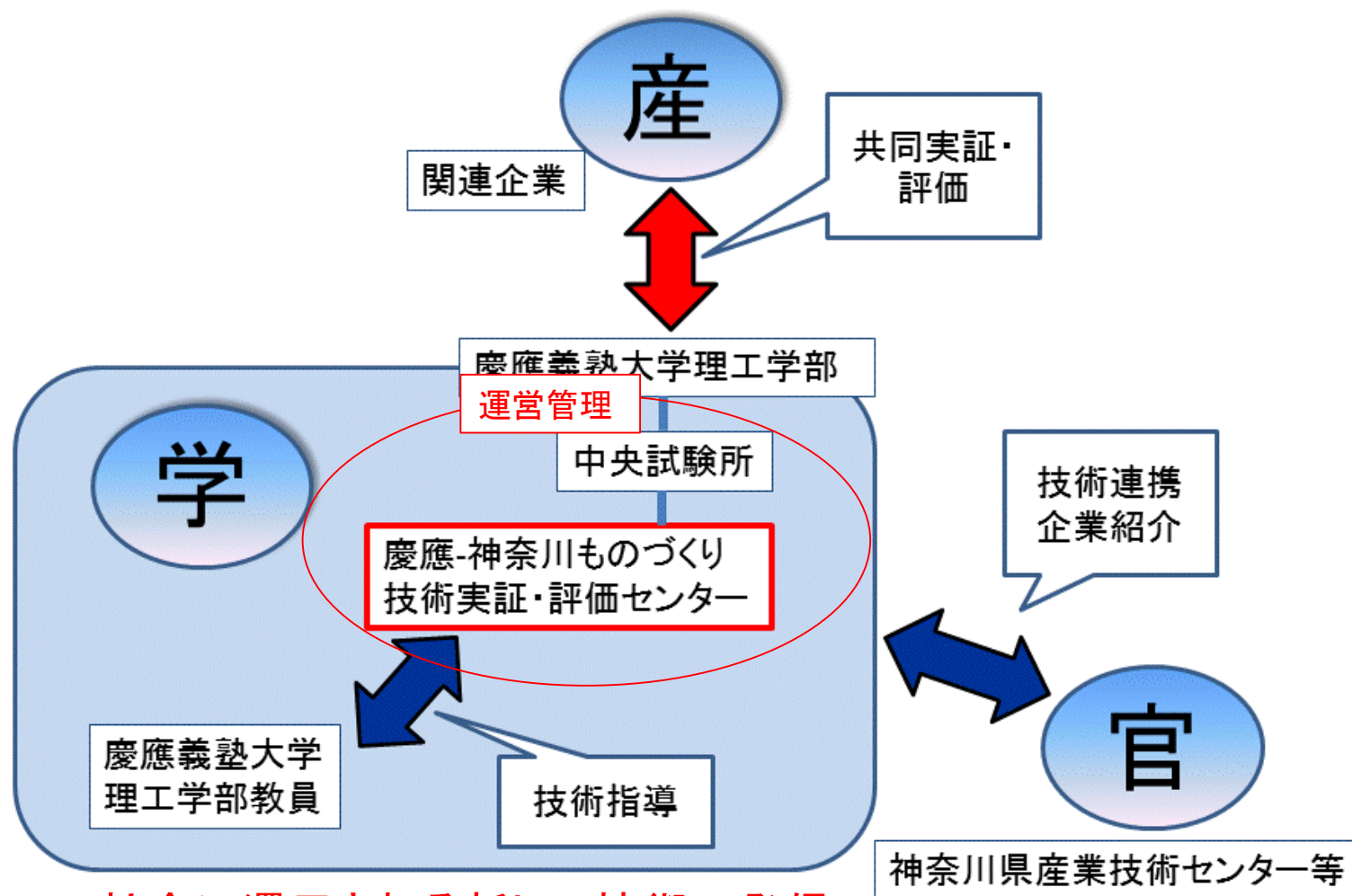
平成25年9月より開所

成膜技術

表面改質

ナノ加工

テクノロジーセンター棟(07棟)



社会に還元される新しい技術の発信

産官学連携モデル

カナモノ導入装置



装置名	型式
大気圧プラズマナノ加工装置	AP-01S-200M(積水化学工業)
多目的プラズマ加工装置	ICF-500DS2hp(ナノテック)
電子ビーム描画装置	ELS-7800(エリオニクス)
多元系合金窒化膜PVD成膜装置	M500C-303(日本ITF)
超高感度水蒸気透過率測定装置	AQUATRAN(MOCON)
ナノ材料微細加工観察システム	Quanta 3D 200i(FEI Company)
超精密ナノ加工装置	ROBONANO α -OiB(ファナック)

大気圧プラズマナノ加工装置



大気圧プラズマ法によるSiO₂膜の形成
として樹脂系材の硬質膜やフィルムのバ
リア性向上を大気圧下で行うことで高速
成膜が可能

* 積水化学工業 AP-01S-200M

特長

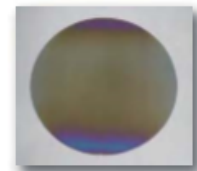
- ・低温成膜（～ 300℃）
- ・プラズマダメージレス
- ・大気圧ゆえの高速成膜



Plasma

アプリケーション

- ・樹脂基材
- ・中間層形成
- ・MEMS パッケージ
- ・バリヤー層形成



SiO₂

多目的プラズマ加工装置



DLCを含む高機能性を持つカーボン膜による超鏡面性,導電性,耐熱性,撥水性,アルミニウム合金用,光学用,絶縁性,環境調和型を付与したコーティング装置

* ナノテック ICF-500DS2hp

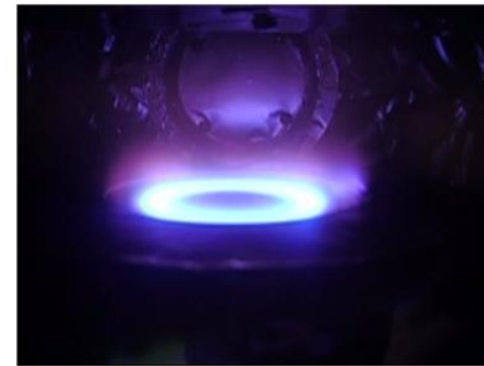


図 カーボンターゲットにおける放電の状況

本装置は真空中において特殊なイオン源によりC₆H₆ (ベンゼン)をプラズマ中で分解し、DLC膜を生成するCVD法と、水素を含有しないDLC膜を生成する大電力パルススパッタ(HIPIMS)法があります。

電子ビーム描画装置



半導体関係のフォトマス作成等に
超微小パターン(最少線幅8ナノ
メータ)を直接描画することが可能

* エリオニクス ELS-7800

Applications

Blazed Grating

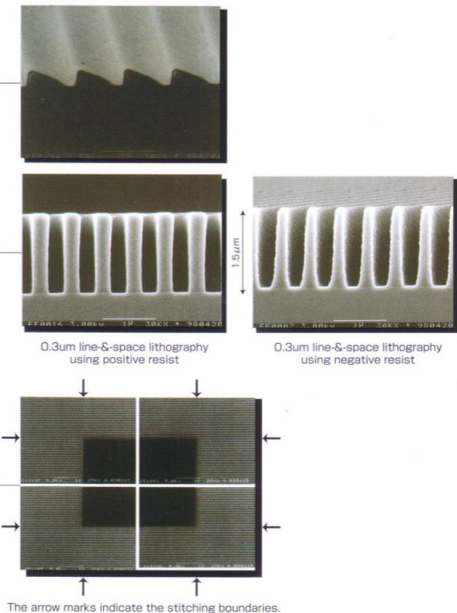
Optical planar lens
(film thickness: 0.32 μ m, pitch: 1.0 μ m)

High-Aspect Ratio Lithography

Applications to resist-mask etching
and lift-off are possible.

High-Precision Stitching Pattern

10nm line, 100nm pitch. The arrow marks
indicate the stitching boundaries.



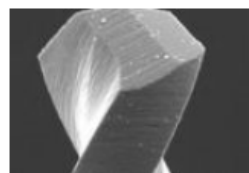
多元系合金窒化膜PVD成膜装置



主に、耐摩耗性、耐腐食、耐酸化、
焼付き防止などに優れた切削工具表
面に窒化系コーティングを形成する

* 日本ITF M500C-303

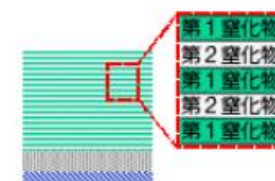
超薄膜化技術



均質な膜を極めて薄く
生成する技術

微細工具など寸法精度要求の厳し
い工具等へのコーティングを可能
にする技術です。

超多層化技術



ナノ単位の厚みの膜を
何層にも重ねる技術

複合的な特性や機能を持つ膜を生
成する技術です。

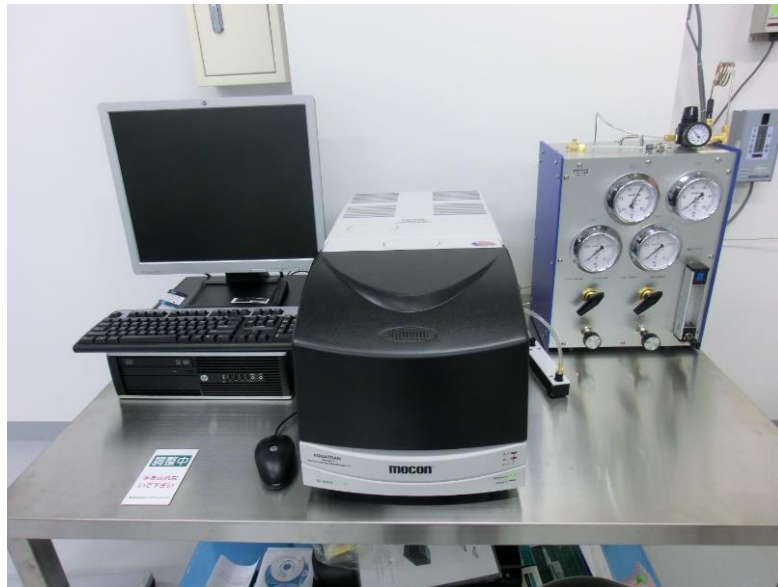
【成膜可能な膜種】

TiN、TiCN、TiAlN、CrN、等

【用途】

切削工具、金型、自動車部品、機械部品、装飾、等

超高感度水蒸気透過率測定装置



ポリカやペット等のフィルム材等のバリア性を計測する装置。 $5\text{g}/\text{m}^2/\text{day} \sim 0.5\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$ までの水分透過量の計測が可能

* MOCON AQUATRAN 1



高感度で水蒸気透過を測定する場合、試料とセルの間からリークする外気の水蒸気が無視できない量となります。このリークをできるだけ軽減するために、セル外周に窒素ガスをフローさせる機構を搭載しました。

ナノ材料微細加工観察システム



イオンビーム加工法(FIB)による試料の
ナノ加工と観察が可能

* FEI Company Quanta 3D 200i

一般的な用途の例:

- TEM、原子プローブ、EBSD試料の調製
- 原子プローブ試料の調製
- 仕上げ金属表面(塗装面、垂鉛めつき面など)の表面欠陥の原因となる表面下の解明
- 三次元多孔特性評価と修正
- 別の研究ツールを使った実験特性評価のための専用セクションニングを行う
- 炭化物含有鋼鉄の配分の容積復元
- 亀裂先端の三次元復元
- 仕上げ金属表面(塗装面、垂鉛めつき面など)の表面欠陥の原因となる表面下の解明
- 直交横断面に沿ったひずみ材料の特性評価
- マイクロポリウム試料パイプシー
- めれ挙動特性評価と二面角の測定
- 基本回路の変更
- ナノ規模の表面構造変更(ナノプロトタイピング)

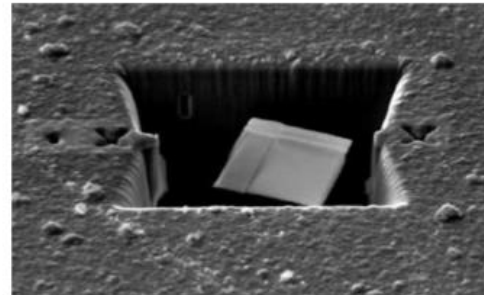


図1: TiO₂/Au/Si₃N₄ 試料で調製したTEM薄板

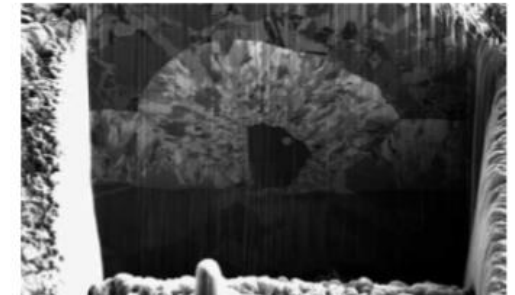


図2: 表面下に隠されているアーチファクトの断面図

超精密ナノ加工装置

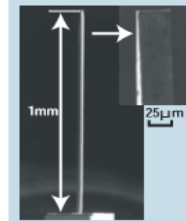


指令分解能1ナノメートルの駆動による超精密
5軸ナノ加工機であるため、
複雑な形状の部品や金型をナノ精度で切削
することで鏡面加工が可能な装置

* ファナック ROBONANO α-OiB

マイクロ針 (アレイ) Micro needle (array)

- 高アスペクト比の針形状や、針アレイ形状が折れずに加工できます。
- Needles and needle arrays with high aspect ratios can be fabricated without breaking them.



マイクロ針
Micro needle

25μm×25μm×1000μm
先端角 [Tip angle]: 15°
材料 [Material]: 真鍮 [Brass]

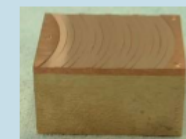


マイクロ針山
3×3 needle array

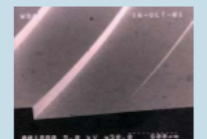
ピッチ [Pitch]: 250μm
直径 [Diameter]: 30μm
高さ [Height]: 180μm
先端角 [Tip angle]: 15°
材料 [Material]: 真鍮 [Brass]

曲面アレイ Curved surface array

- 5軸制御機能を用いたミリング加工により、フライアイミラーのような曲面アレイなど、複雑な形状に対応できます。
- Milling with the 5-axis control function allows fabrication of complicated figures such as curved-surface arrays including fly-eye mirrors.



5mm



600μm

フライアイミラー (4種類の球面ミラーアレイ)

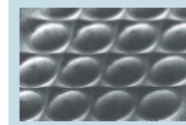
Fly-eye mirror (Mirror array with four kind of spherical surface)

ミラーピッチ [Pitch]: 1mm
球面半径 [Radius]: R295mm

ミラー幅 [Width]: 15mm
材料 [Material]: 銅メッキ [Cu plate]

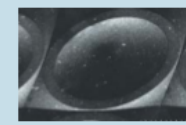
マイクロレンズアレイ Micro lens array

- 凹や凸のマイクロレンズをアレイ状に加工できます。シリコンなどの脆性材料の延性モード加工も可能です。
- Micro convex or concave lenses can be machined into arrays. Brittle materials such as silicon can be machined in ductile mode.

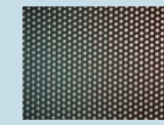


凸レンズアレイ
4×4 Convex lens array

ピッチ [Pitch]: 290μm, 高さ [Height]: 16μm, 半径 [Radius]: R448μm
材料 [Material]: 真鍮 [Brass]

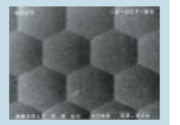


100μm



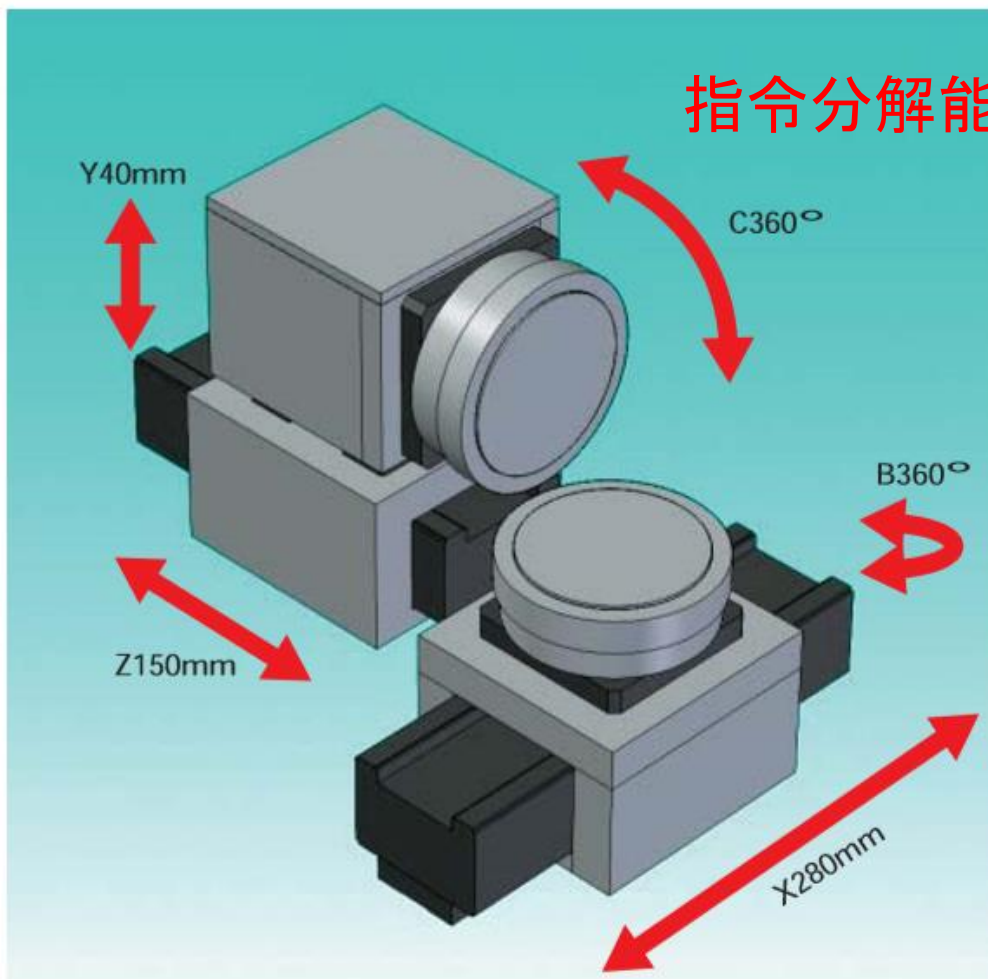
凹レンズアレイ
100×100 Concave lens array

ピッチ [Pitch]: 80μm, 半径 [Radius]: R100μm
材料 [Material]: ニッケルリンメッキ [Ni-P]

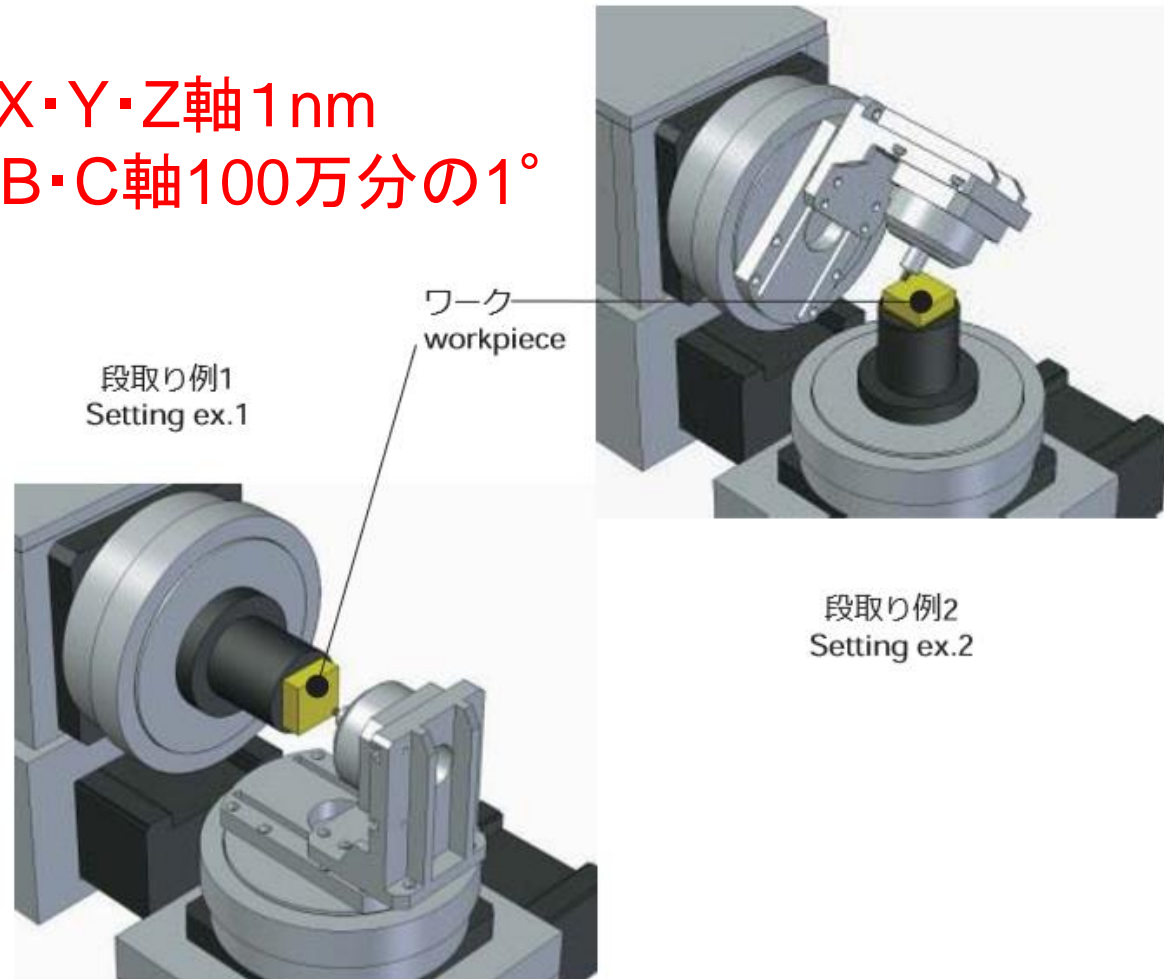


60μm

超精密ナノ加工装置



指令分解能: X・Y・Z軸1nm
B・C軸100万分の1°



※図はメーカーカタログによる (FANUC_ROBOnano_Alpha-OiB)

非球面旋切削加工



工具: 単結晶ダイヤモンドバイト ノーズR5mm

被削材: 黄銅

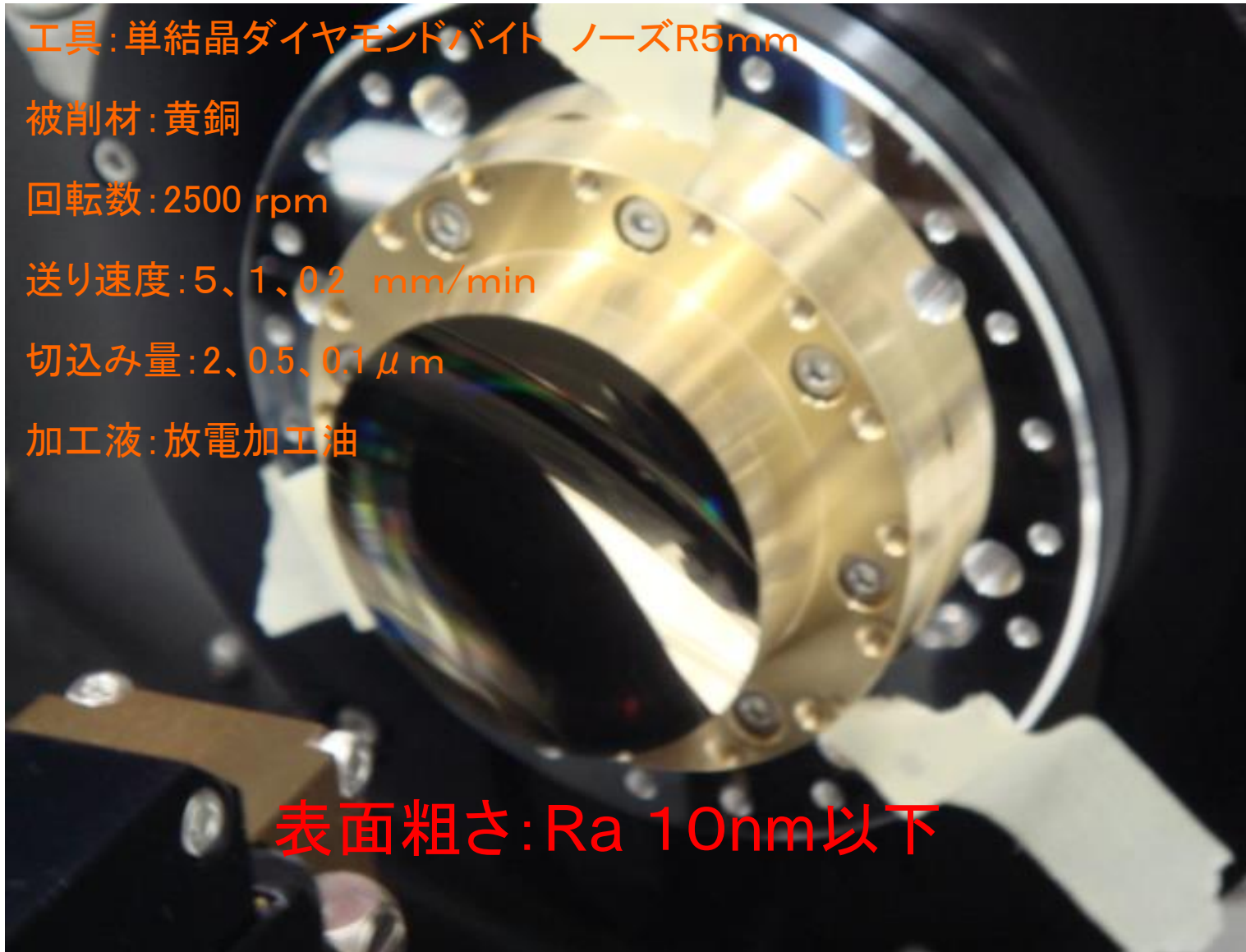
回転数: 2500 rpm

送り速度: 5、1、0.2 mm/min

切込み量: 2、0.5、0.1 μm

加工液: 放電加工油

表面粗さ: Ra 10nm以下



フライカット加工



工具: 単結晶ダイヤモンドバイト 平先W2.5mm

被削材: 黄銅

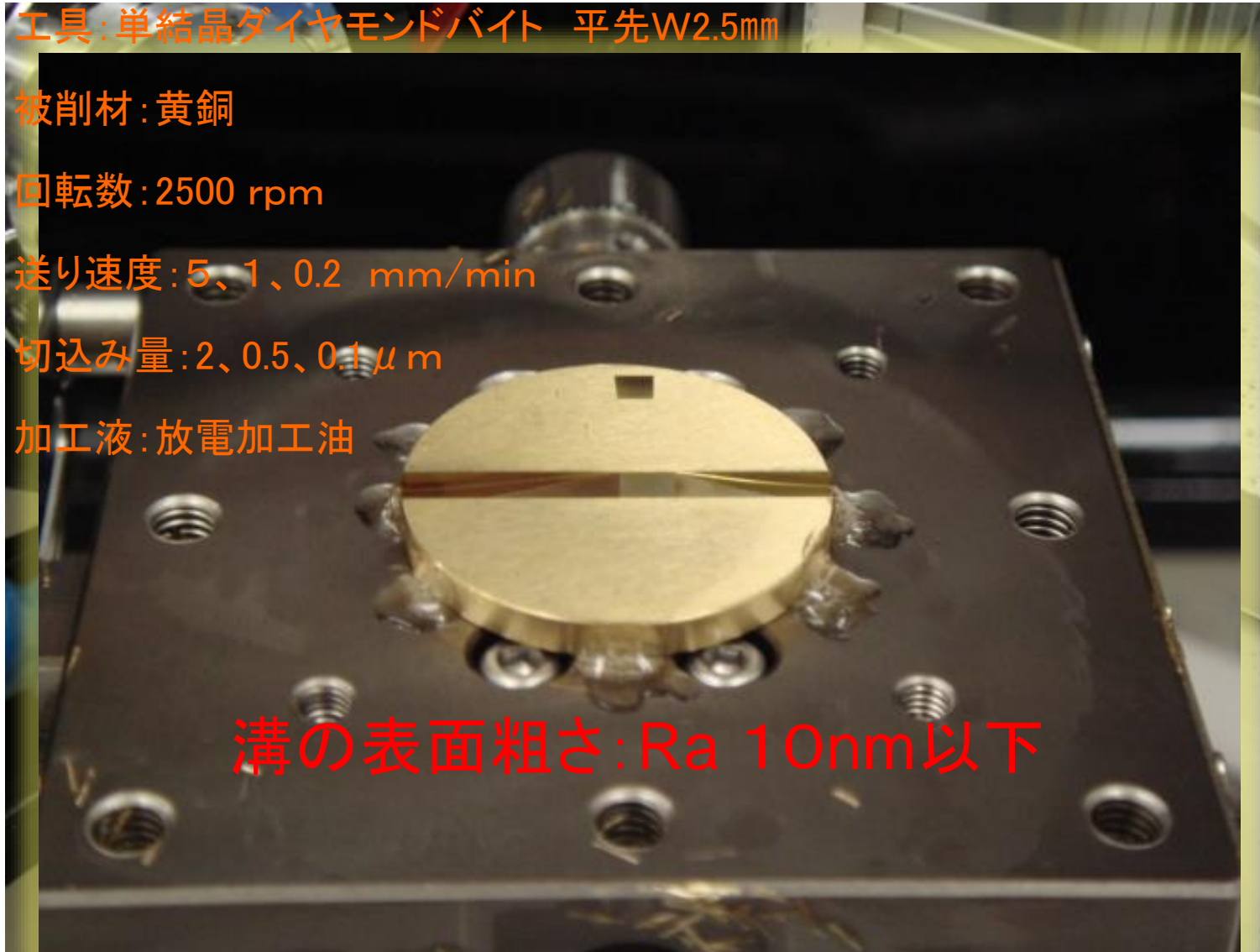
回転数: 2500 rpm

送り速度: 5、1、0.2 mm/min

切込み量: 2、0.5、0.1 μm

加工液: 放電加工油

溝の表面粗さ: Ra 10nm以下



旋削加工



工具: 単結晶ダイヤモンドバイト WA 90°

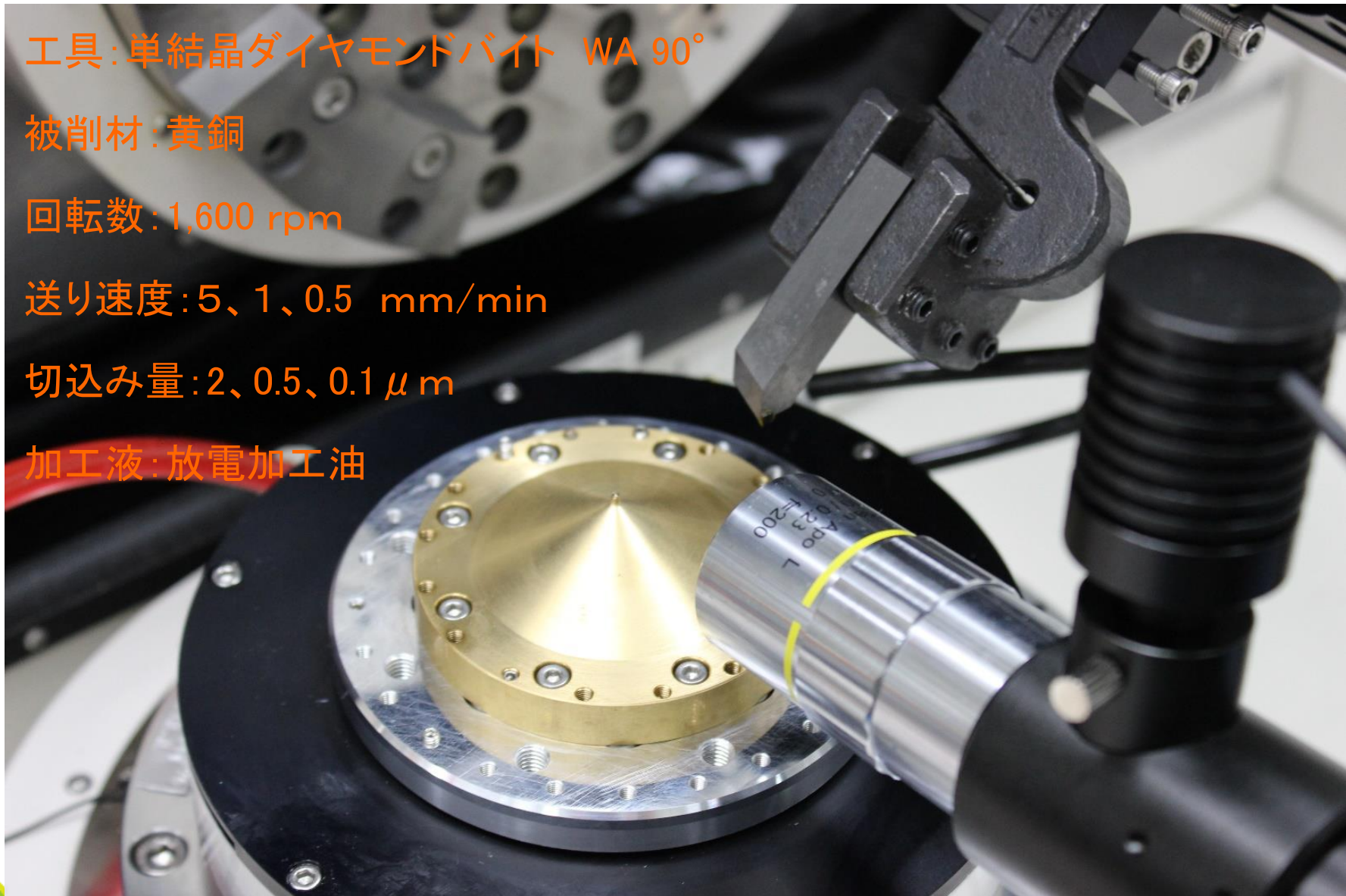
被削材: 黄銅

回転数: 1,600 rpm

送り速度: 5、1、0.5 mm/min

切込み量: 2、0.5、0.1 μm

加工液: 放電加工油

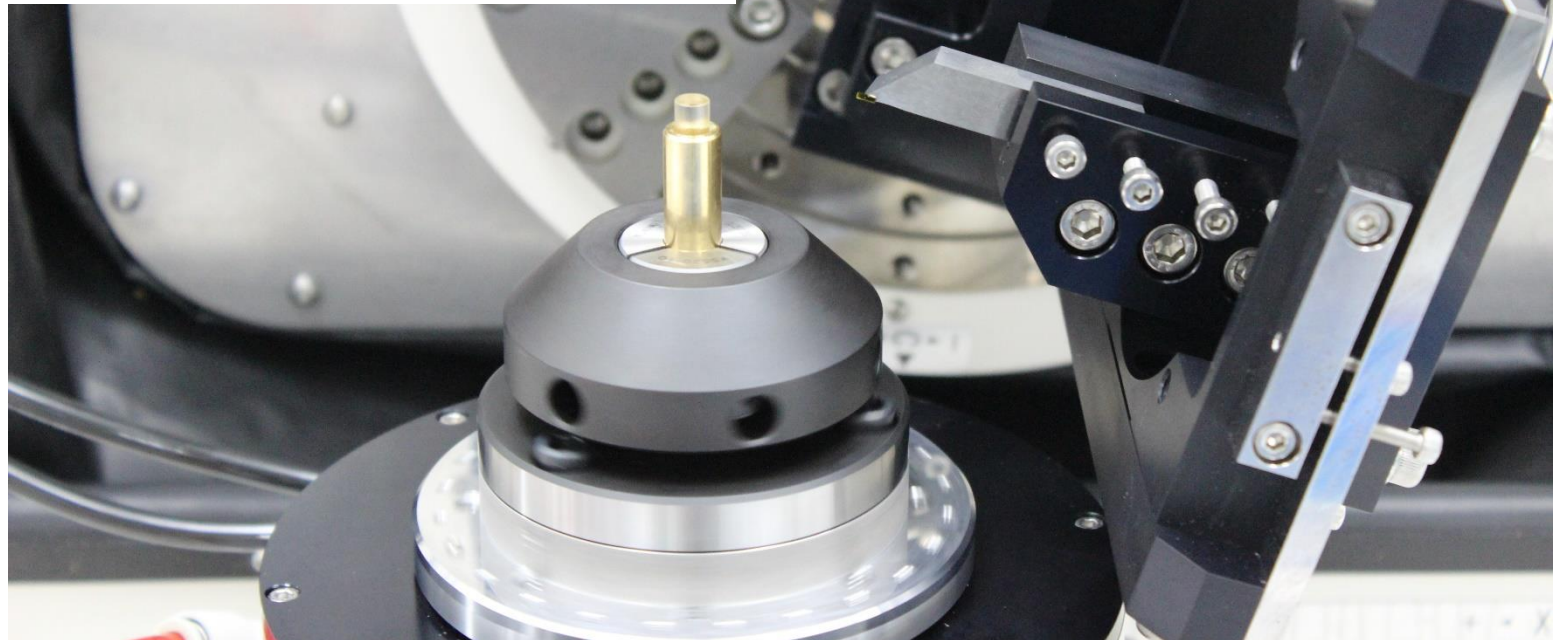


CaF₂の加工方法



加工条件

回転数一定 1500rpm	切削速度 m/min	送り速度 mm/min	送り量 mm/rev	切込量 mm
粗加工 $\Phi 6\text{ mm} \rightarrow \Phi 2\text{ mm}$	28.26	20	0.0133	0.002
中加工 $\Phi 2.0\text{ mm} \rightarrow \Phi 1.1\text{ mm}$	9.42	10	0.006	0.0005
仕上げ $\Phi 1.1\text{ mm} \rightarrow \Phi 1.0\text{ mm}$	4.71	1	0.0006	0.0001





- ① 旋削加工や、フライカットによる表面加工精度(10nm以下)は良い結果であった。
- ② CaF_2 加工についての課題は、 CaF_2 が延性型から脆性破壊型変化遷移する前までに最適な切削加工条件を見つけることで、表面性状が安定になると考えている。
- ③ 単結晶試料であるシリコンや MgO といった様々な難削材の加工が増えている。今後のナノ加工技術において、試料の特性はもちろん様々な加工の経験と加工データの蓄積が必要である。
- ④ 産学連携施設の成果をあげるため、ナノ加工分野のネットワークを広げ、企業の受入を増やすための実績を蓄えたい。