

# 光田研究室

## [炭素系薄膜の形成]

物質・環境系部門

Department of Materials and Environmental Science

無機プラズマ合成

マテリアル工学専攻

<http://www.ips.iis.u-tokyo.ac.jp/>

### 炭素系薄膜とは？

#### 炭素の同素体

##### Allotropes of Carbon

炭素は、原子間の結合状態によりさまざまな結晶構造をとるため、複数の同素体が存在する。また、非晶質（微結晶）の炭素物質も数多く知られている。

##### 結晶質

- **ダイヤモンド**（高压安定相）  
C原子結合：sp<sup>3</sup>のみ
- **グラファイト**（常圧安定相）  
C原子結合：sp<sup>2</sup>のみ  
単層：グラフェン  
変形：ナノチューブ
- **カルビン**（超高压安定相—未確認）  
C原子結合：spのみ
- **フラーレン**  
C原子結合：sp<sup>3</sup>とsp<sup>2</sup>の間

##### 非晶質（アモルファス）

- **Diamond Like Carbon (DLC)**  
C原子結合：sp<sup>2</sup>とsp<sup>3</sup>との混在  
ダイヤモンド類似物性の非晶質  
理想：透明・硬い・絶縁性
- **ガラス状炭素**  
乱れた層状構造のグラファイト
- **カーボンブラック**  
微粉末グラファイト
- **すす**  
微粉末グラファイト

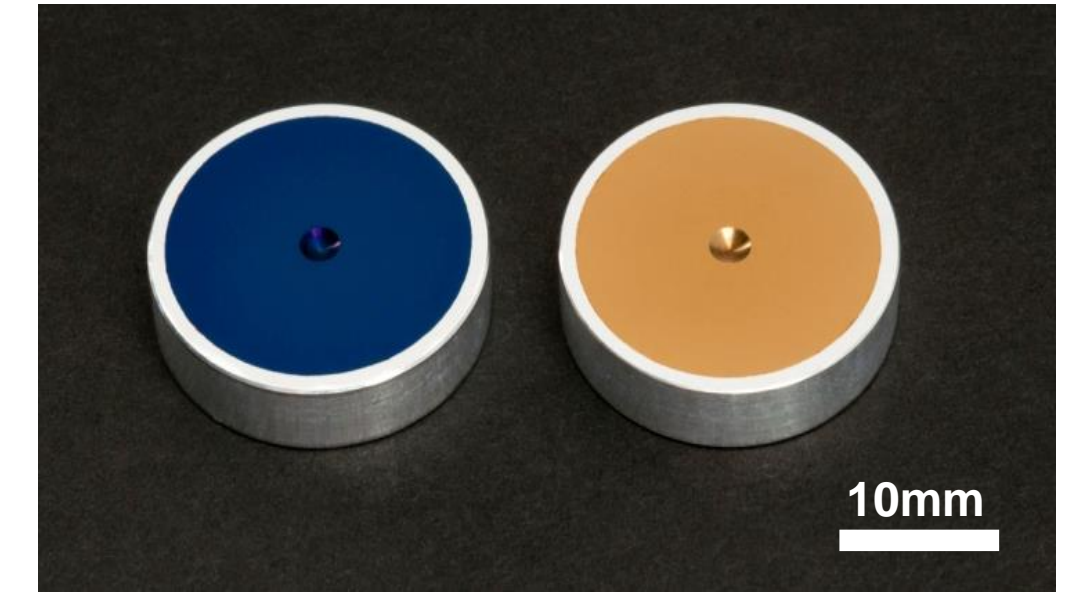
#### ダイヤモンドとDLC

##### Diamond & DLC

ダイヤモンド気相成長も、DLC膜の形成も1960年代から研究が始まる。ダイヤモンドは、超硬質膜や半導体膜としての実用化が望まれている次世代材料であり、DLC膜は既に硬質膜やバリアコーティングとして実用化が進んでいる。



多結晶ダイヤモンド膜。四角い(100)面が観察できる。このように、晶癖が明確に現れているため、表面の凹凸が非常に大きい。



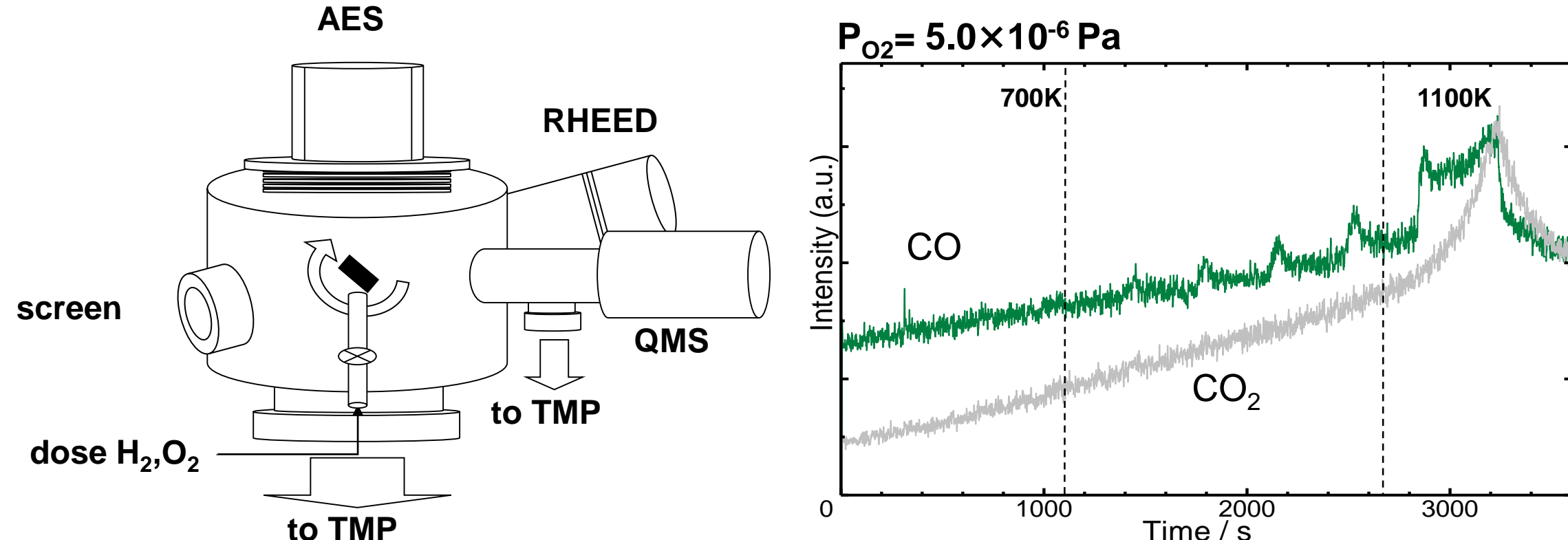
DLCがコーティングされたアルミ合金部材。色の違いは膜厚に依存した干渉により生じている。これはDLCが可視光領域で透明であることを示している。

### ダイヤモンドの気相成長

#### ダイヤモンド気相成長の表面反応

##### Surface Reaction during Diamond Vapor Growth

気相成長中のダイヤモンド表面は、さまざまな気相分子と相互作用をしている。超高真空雰囲気下での基礎的な実験を通して、気相からのダイヤモンド合成のメカニズムを明らかにすることを目標としている。



表面分析のための超高真空槽。背圧は10<sup>-9</sup> Paに達する。RHEED, AES, QMSとガスクラッキング機構により表面の構造、化学結合種、脱離種の計測が可能となる。

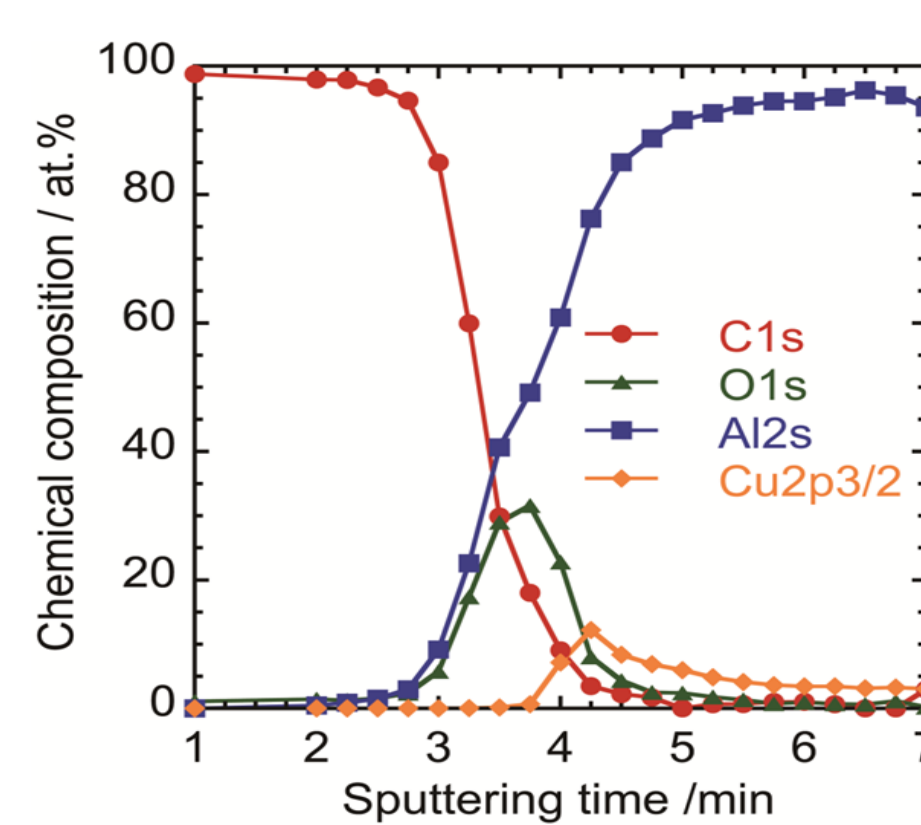
酸素雰囲気での熱処理におけるダイヤモンド表面からの脱離種。ダイヤモンドを終端した酸素がO<sub>2</sub>の形で可逆的に脱離することは無く、必ず表面のエッチングを伴い、COとして脱離する。

### 非晶質硬質炭素膜の形成

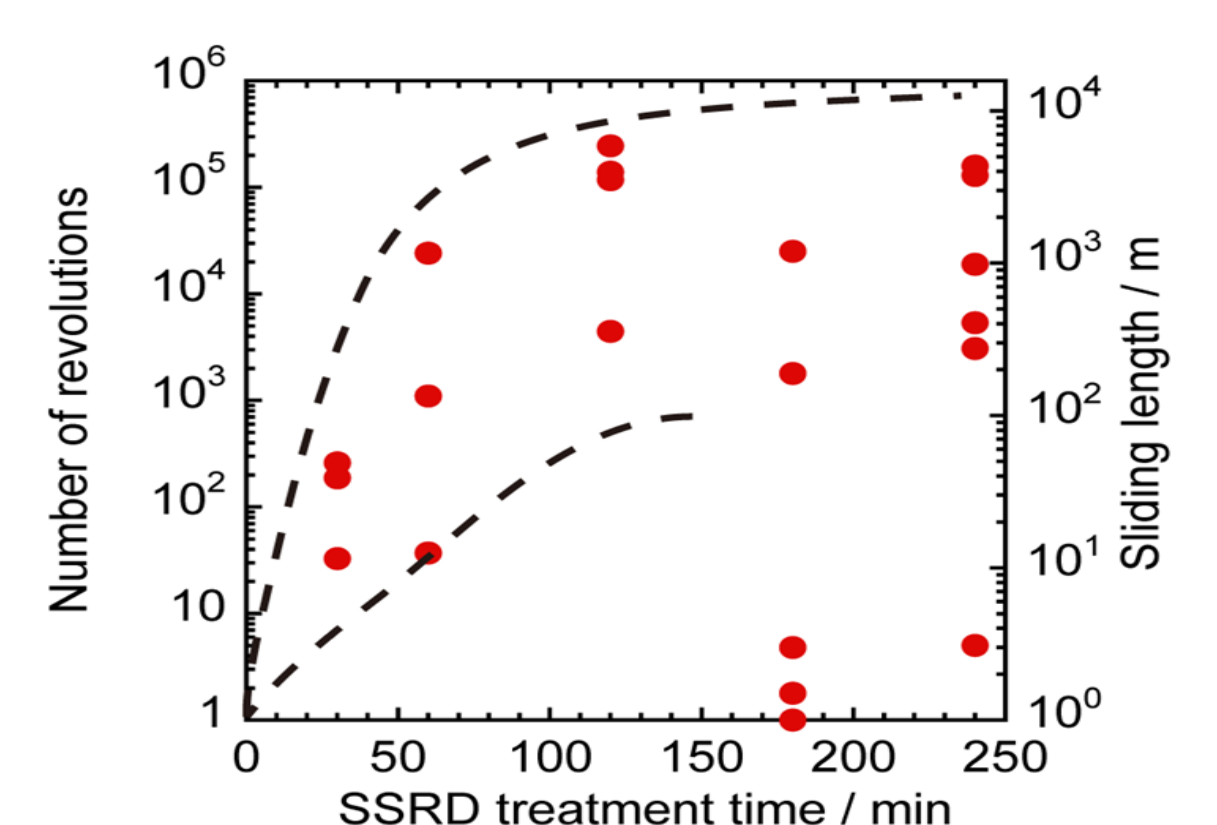
#### Al合金上の耐摩耗コーティング

##### Wear-proof Coating of DLC on Al alloy

DLCコーティングによりAlの表面硬度を向上させれば軽量の機械摺動部品が実現されるが、薄膜/基材間の低密着性という課題がある。基材堆積法(SSRD)という新たな界面制御技術を開発し、密着強度を向上可能であることを示した。



DLC膜（左）とAl合金基材（右）との界面近傍のXPS測定結果。SSRD法により、界面近傍にAl/C混合層が形成されていることがわかる。



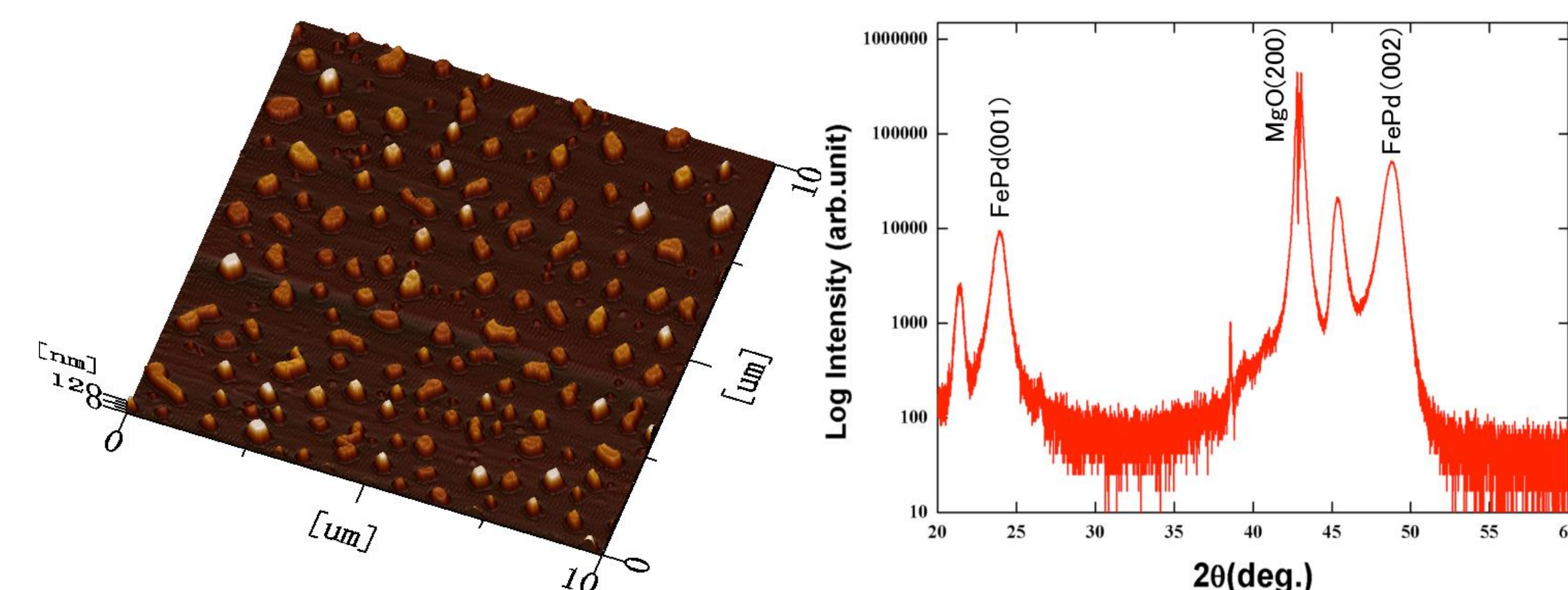
SSRD法を用いて、Al合金上に堆積したDLC膜のボールオンディスク試験結果。SSRD時間の増加に伴い、耐久性が向上していることがわかる。

### その他の研究テーマ

#### 自己組織化金属ナノ構造薄膜の作製

##### Self-assembled Nanostructures

自己組織化を伴うボトムアッププロセスにより形成される金属ナノ構造薄膜。スパッタリング法を用いて形成される点に産業価値があり、高密度の磁気記録デバイスに応用可能である。

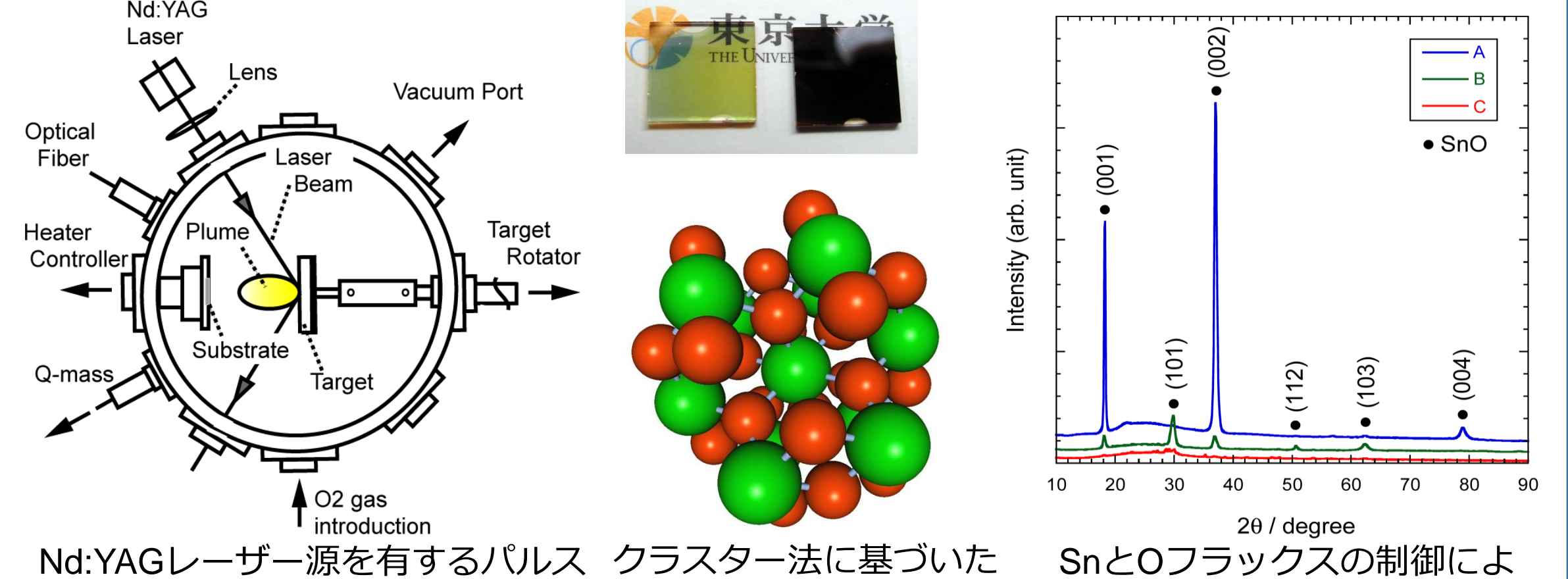


Feシード層およびAu凝集層の堆積により、単結晶MgO基板上に形成された数十nmのFePdナノドット薄膜。AFM像とXRDパターンから均質なナノドット構造と結晶配向性が確認できる。

#### 酸化物透明導電膜のPLD堆積

##### Transparent Conductive Oxide Films

酸化物透明導電薄膜はフラットパネルディスプレイや太陽電池に必須の材料である。本研究ではSnOおよびSnO<sub>2</sub>を用いて高い導電性を有する新規の透明導電膜を得ることを目標としている。



Nd:YAGレーザー源を有するパルスレーザー蒸着装置。意図しない不純物の混入を極力避けるため、10<sup>-7</sup>Paの背圧を維持している。

クラスター法に基づいた理論計算により新たなドーパント元素の候補を検討する。

SnとOフラックスの制御により、ガラス上にも結晶配向したSnO薄膜が得られる。