# 2次元レーザー誘起蛍光法による レーザーアブレーションプルームの可視化

## 佐々木 浩一

### 名古屋大学大学院 工学研究科 電子情報システム専攻

\*Email: <u>sasaki@nuee.nagoya-u.ac.jp</u>





レーザーアブレーションとは?

固体ターゲットにレーザー光を照射すること により,ターゲット材料が爆発的に放出され, ターゲットがエロージョンされる現象

## 固体を原料とした超高密度 反応性プラズマ!

## レーザーアブレーションの応用

・加工…ターゲットの穴あけ、切断など
・分析…発光分析、質量分析(田中氏ノーベル賞)
・医学…近視治療、歯科治療
・エネルギー…慣性核融合、原子炉の診断
・光源…EUVリソグラフィーの光源など
・表面改質…ターゲットの表面改質
・薄膜作成(PLD)…アブレーション粒子が薄膜状に堆積
・微粒子(クラスター)作成…アブレーション粒子の凝集





- レーザー照射によりターゲットが気化
- ターゲットから放出された粒子は基板 に向かって運動(ターゲットー基板間 距離は典型的に3cm程度)
- 基板に到達した粒子は凝縮・固化し、 薄膜が形成される。
- 雰囲気が反応性ガス(分子ガス)の場 合には反応生成物も基板に到達・堆 看する。
- EUV光源の場合には,粒子が光学系 に到達すると障害(ダメージ)になる。

# EUVとPLDにおける「デブリ」

|               | EUV   | PLD   |
|---------------|---|---|
| 中性粒子          | 電磁的方法によって軌道を曲げ<br>ることができないので除去が難し<br>い。                             | 薄膜堆積の主な前駆体と考えられ<br>ている。PLDではデブリには分類し<br>ない。                           |
| イオン           | 電磁的方法によって除去が可能。<br>全粒子をイオン化して電磁的方<br>法で除去するのがEUVにおける<br>デブリ回避の基本方針? | 従来の常識に反し,PLDの条件でも<br>メジャーな放出粒子である可能性が<br>示唆されている。PLDではデブリに<br>は分類しない。 |
| 高速粒子<br>(イオン) | 電磁的方法による除去が難しく<br>なる。   | 基板表面でのマイグレーションを促<br>進し,低基板温度での結晶化促進<br>に役立つ?                          |
| 液滴など          |   | PLDでのデブリとはこれのこと。レー<br>ザー波長およびターゲット表面の荒<br>れに依存することが知られている。            |











Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖 🗖

Em.

### .....

物理学会2004年秋, September 12, 2004, 青森大学

E m







リーディングエッジの移動



- 真空中では等速運動
- 雰囲気ガス中では減速運動
- 高ガス圧中ではより強力な減速
   運動
- リーディングエッジの移動はポイ ントブラスト波モデルで大体説明 できる

ヘリウムガス中でのグラファイトのアブレーション





Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University



Em.

# ドップラー効果による測定感度の低下



z軸に沿って運動しない粒子は ドップラー効果によって励起効率が異なる





励起効率が低下



Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖 🗖



Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖

i m



E m

物理学会2004年秋, September 12, 2004, 青森大学



E m

atoms

中性化 1 10<sup>16</sup> 6 10<sup>16</sup> -He 0.25Torr le 0.25Tori Number of Ti+ions - He 0.5Torr He 0.5Torr He 0.75Torr 5 10<sup>16</sup> 8 10<sup>15</sup> He 0.75Torr He 1.0Torr -He 1.0Torr → He 1.5Torr I 6 10<sup>15</sup> **A** 10<sup>15</sup> **A** 10<sup>15</sup> **A** 10<sup>15</sup> **A** 10<sup>15</sup> 4 10<sup>16</sup> -He 1.5Torr 6 10<sup>15</sup> 3 10<sup>16</sup> 2 10<sup>16</sup> 1 10<sup>16</sup> 1000 0.1 10 100 1000 10 100 Delay time t ( $\mu$ s) Delay time t ( $\mu$ s)  $Ti^+ + e + M \rightarrow Ti + M$  $Ti^{2+} + e + M \rightarrow Ti^{+} + M$ 

### ....





Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖 🗖





Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University





Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖

后前

物理学会2004年秋, September 12, 2004, 青森大学 回転温度画像計測  $R_{11}(10)$  $R_{11}(9)$ 30 20 Taking many 10 pictures of LIFs  $R_{11}(8)$ 23500 23500 **Excitation at many** transition lines 23500 Boltzmann plot at each pixel 514.6 514.7 514.8 514.9 514.5 515 Laser wavelength (nm)

┛



Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖 🗖



Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖 🗖

后前



Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University 🗖

# まとめ

- 2次元レーザー誘起蛍光法
  - 中性原子,中性分子,および(可能な種は限られるが)一価イオンの密度分 布の時間変化を可視化することができる便利な方法。
  - 適用できる粒子が限られること、および、ドップラー効果の影響を受けることが弱点。
- 放出粒子種(メタルターゲットの場合?)および放出粒子のダイナミックス
  - PLDで用いられる程度のレーザーフルエンスでも,主な放出粒子はイオンで ある。2価イオンも相当量放出されていると予想される。
  - 雰囲気ガス中での中性粒子の運動はポイントブラスト波モデルで大体説明できる。
- 雰囲気ガスの効果
  - 粒子の運動速度を低下させ、ターゲット付近に閉じ込める。
  - イオンの中性化を促進する。
  - 分子ガスの場合,表面付着係数の小さな分子性ラジカルに変換できる。

# まとめ

- 雰囲気ガスのダイナミックス
  - プルームの発生により雰囲気ガスは押しのけられて局所的に密度が低下する。
  - 雰囲気ガスの密度が低下した部分にプルームがある。
  - 雰囲気ガスの密度が低下した部分の周囲に圧縮層があり,雰囲気ガス中を 音速で伝搬する。
  - 雰囲気が反応性ガスの場合、プルームとの反応はプルームと雰囲気の界面でのみ生じる。
- プルーム温度の時間変化
  - 高ガス圧の場合,衝撃波の影響でリーディングエッジ部が高温になる。
  - 初期の温度低下は断熱膨張過程で大体説明できる。