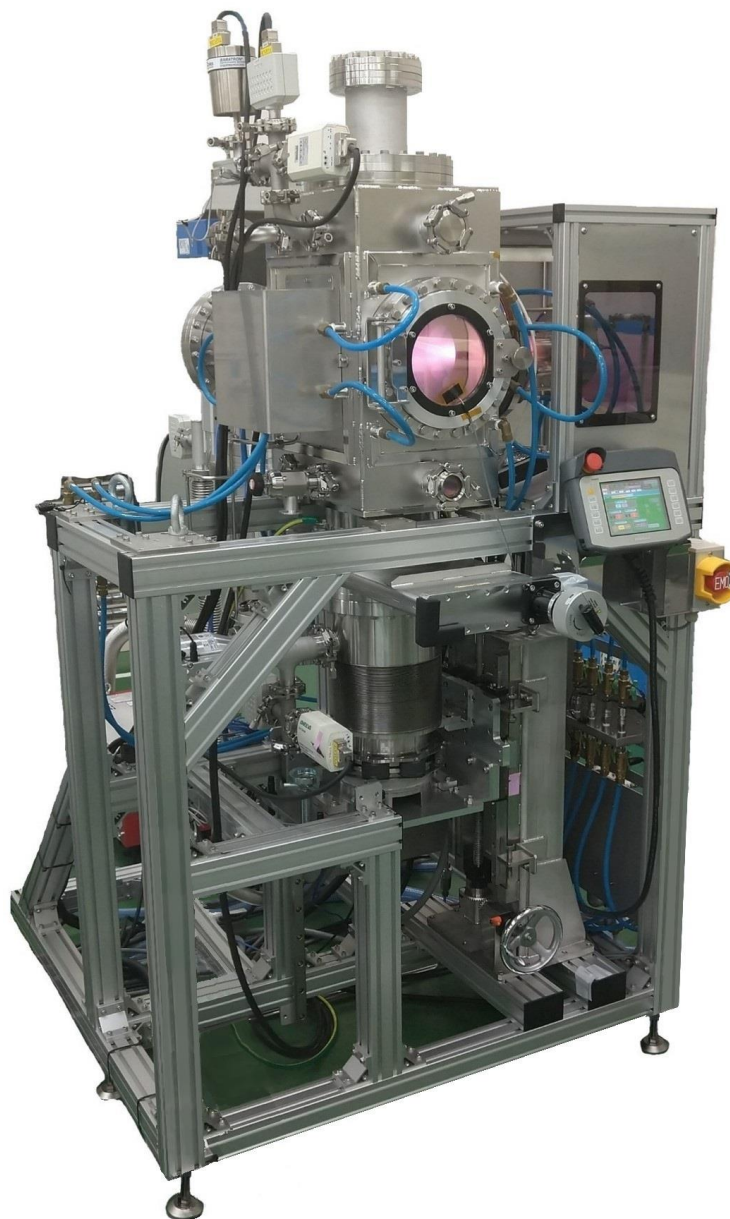


高品質な酸化を低温で実現する

Reactive Nion™

反応性酸素負イオン照射装置

Reactive Negative atomic oxygen (O^-) Ion irradiation equipment

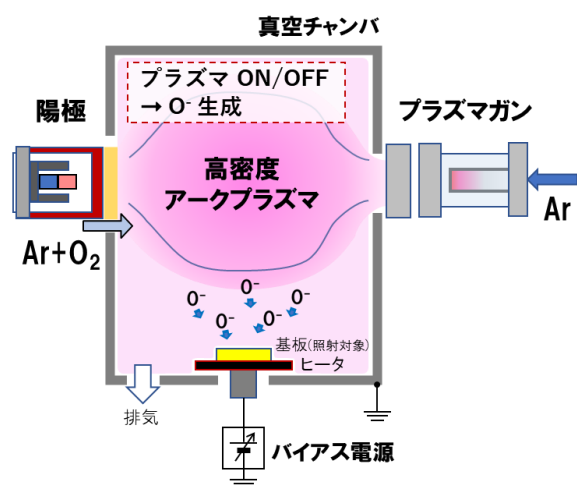


Reactive Nion™ は、低圧アークプラズマで生成した高密度な酸素負イオンにエネルギーを付与して照射する装置です。従来の酸化処理に比べ、高品質な酸化を低温で実現します。

特長

- 低圧アークプラズマによる高密度酸素負イオン (O^-) 生成
 - ✓ O^- を高効率に生成できる電子温度制御を独自技術で実現します。
 - ✓ 酸化に強い圧力勾配型プラズマガンを使用し、長時間運転を実現します。
- 酸素負イオン照射による高反応酸化処理
 - ✓ 他の活性酸素種 (オゾンなど) より酸素負イオン (O^-) は高反応性です。
 - ✓ 酸化に必要な反応エネルギーをバイアス電圧印加により付与・制御します。
- 低温かつチャージアップフリー処理
 - ✓ 中性化 ($O^- \rightarrow O$) が吸熱反応であり低温処理が可能です。
 - ✓ 負イオン照射はチャージアップフリーであり別の電子源が不要です。

Reactive Nion™ の動作原理



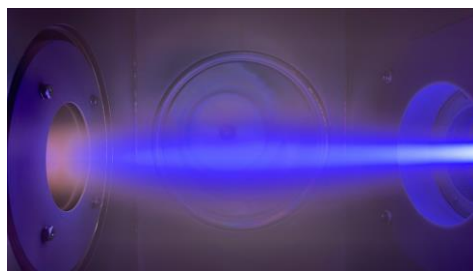
- ① プラズマガンからアルゴン (Ar) プラズマをチャンバ内に導入する。
- ② Ar プラズマがチャンバ内の酸素 (O_2) と反応し、酸素負イオン (O^-) が生成される。
- ③ プラズマガンからチャンバへの Ar プラズマの導入を停止する。
- ④ チャンバ内の電子が無くなる時間まで待機する。
- ⑤ 基板 (照射対象) にバイアスを印加し、 O^- を照射する。

上記の ①~⑤ を繰り返し、対象物の酸化を行います。住友重機械独自のプラズマ制御技術により、安定したアークプラズマの ON/OFF を行うことで、効率的な O^- 生成および対象物の酸化を実現します。

プラズマの様子



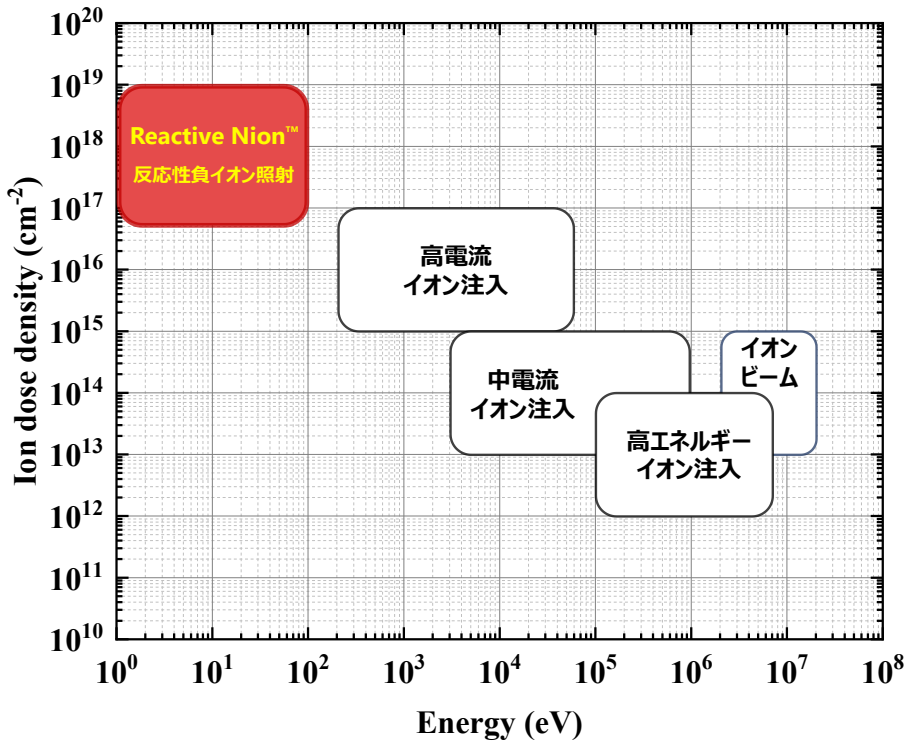
低温電子プラズマ



高温電子プラズマ

- 照射仕様に合わせて、プラズマの電子温度を制御し、最適な O^- 生成・照射を行います。

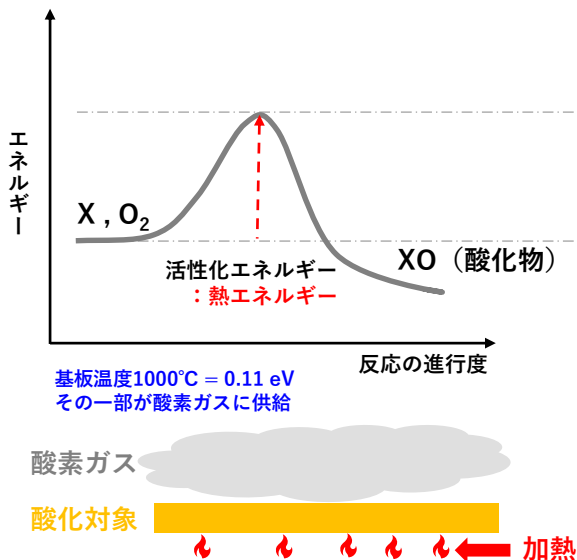
Reactive Nion™ と他のイオン照射技術との比較



- Reactive Nion™ は高密度な負イオンをスパッタなどが起きない低エネルギー (<100 eV) で対象物表面に照射を行います。

熱酸化と負イオン酸化の違い

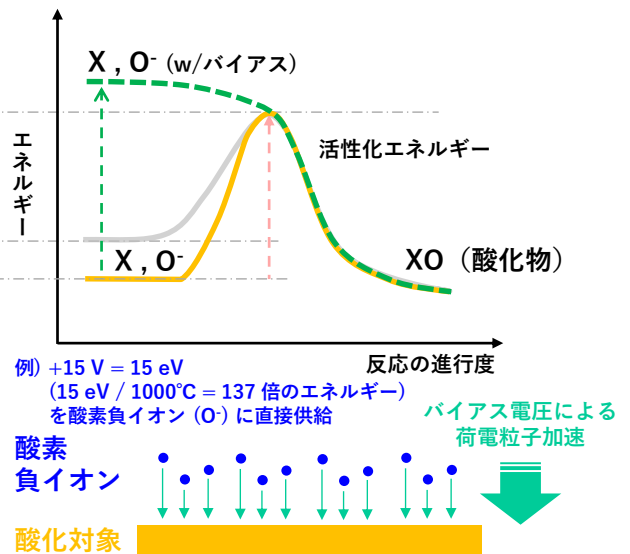
従来の酸化処理 (加熱)



基板温度1000°C = 0.11 eV
その一部が酸素ガスに供給

対象物を加熱し、対象物に接した酸素分子が活性化して酸化する。

負イオン酸化処理



例) +15 V = 15 eV
(15 eV / 1000°C = 137 倍のエネルギー)
を酸素負イオン (O⁻) に直接供給

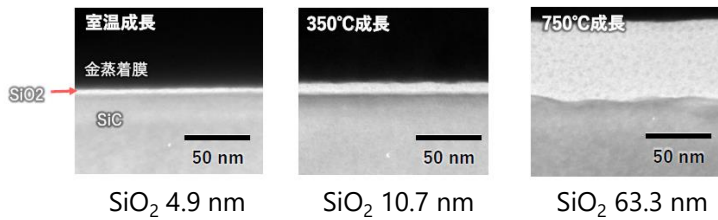
バイアス電圧による
荷電粒子加速

O⁻ をバイアス電圧で適度に加速し、そのエネルギーで酸化する。

負イオン酸化は、熱酸化に比べて遥かに低温での酸化を実現できる

半導体 : SiC ウエハの低温酸化処理 (特願2022-158839)

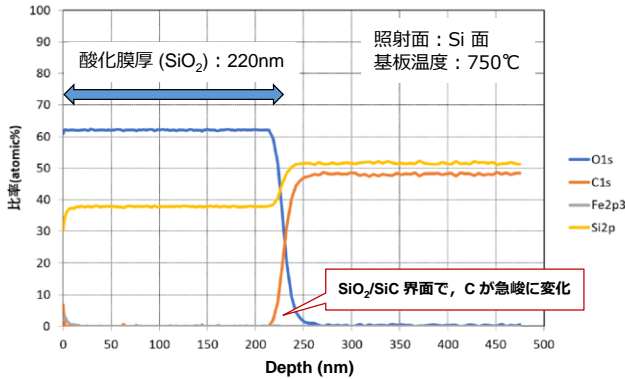
断面 TEM : 温度依存性



*断面TEMは立命館大学荒木研究室にて実施

- 従来、SiCの酸化には900°C以上の加熱が必要である。
- O⁻照射では、非加熱でSiO₂膜を形成できる。
- 室温、350°Cにおいては、界面が非常に平滑である。

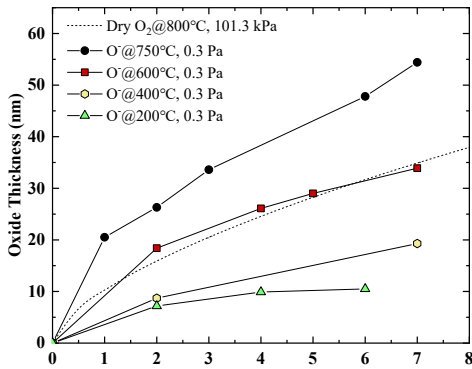
デプスプロファイル (XPS) : 酸化プロファイル



- 熱酸化に比べて、SiO₂/SiC界面の変化が急峻である。
- 断面TEMとデプスプロファイルから、平滑なSiO₂/SiC界面が形成できていることが分かる。(特性は現在調査中)

- ✓ 低温での酸化膜形成
- ✓ 良好なSiO₂/SiC界面形成

半導体 : Si ウエハの低温酸化処理

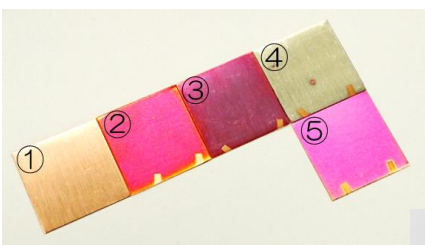


*ドライ酸化 (800°C 時)の酸化膜厚 : 植松他、表面科学 Vol.23, No. 2, pp. 104-110, 2002.

- 従来、Siの酸化には700°C以上の加熱が必要である。
- O⁻照射では、非加熱、200°CでSiO₂膜を形成できる。
- 熱酸化に比べて処理温度の低温化が可能である。

- ✓ 低温での酸化膜形成
- ✓ 後工程での酸化処理

金属・酸化物半導体 : Cu 板の低温酸化処理



- ① 未照射 Cu 板
 - ② 15V, 10min
 - ③ 30V, 10min
 - ④ 45V, 10min
 - ⑤ 45V, 30min
- 全て室温 (非加熱) で照射

住友重機械工業株式会社

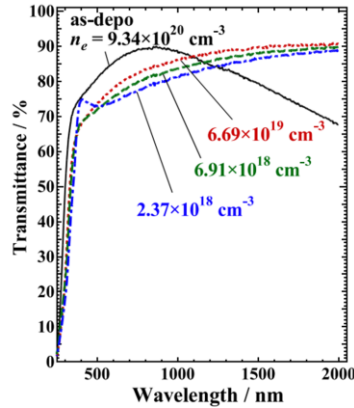
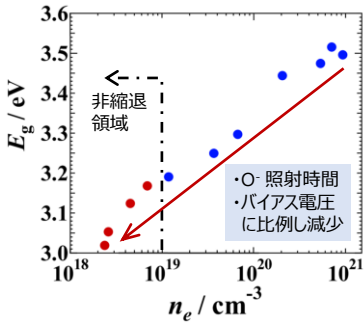
- 従来、p形Cu₂Oの形成には1000°C、5時間の熱酸化と急冷処理が必要である (高温相の形成方法)。
- O⁻照射では、非加熱でCu₂Oを形成できる。
- マスク照射で任意形状の酸化ができる。

*山本他、「塗装工学」Vol. 57, No.2 (2022)



- ✓ 低温でのCu₂O (高温相) 形成
- ✓ 任意形状の酸化処理

酸化物半導体：成膜後での ITO 膜の電気・光学特性の制御



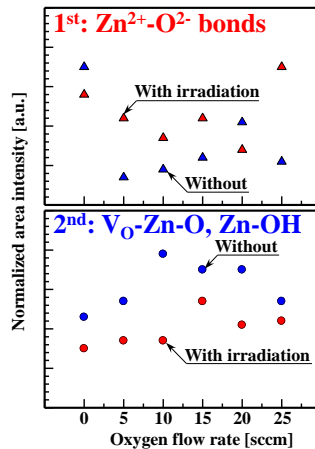
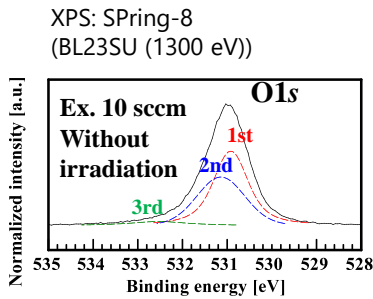
*Y. Furubayashi et al., J. Appl. Phys. D:Appl. Phys. **54**, 145110 (2021).

- O⁻ 照射では、成膜後の ITO (Indium Tin Oxide) 膜のキャリア密度 (n_e) およびバンドギャップ (E_g) の制御が可能である。
- O⁻ 照射により、ITO 膜中の酸素空孔 (V_O) を減少させ、かつ、過剰に酸化させ分子軌道を変化させることで、更に E_g を縮小できる。
- O⁻ 照射による ITO 膜の結晶構造の変化は無く、移動度 (μ) と n_e を制御できる。
 - V_O 減少の範囲では μ は増加する。
- O⁻ 照射により n_e と E_g を制御できるため、透過率も調整できる。

- ✓ 成膜後での酸素空孔制御
- ✓ 電気・光学特性の制御

酸化物半導体：GZO 膜の結晶性制御、水素ガスセンサ性能向上

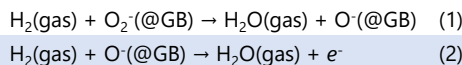
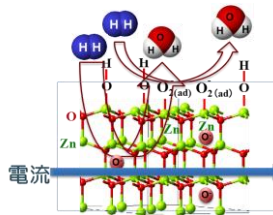
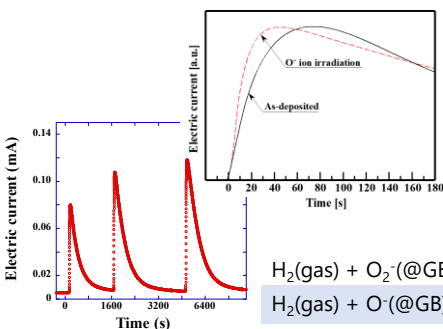
結晶性制御



*野本他, 第 77 回応用物理学会秋季, 15a-A22-2

- O⁻ 照射では、成膜後の GZO (Ga doped Zinc Oxide) 膜の酸素空孔の減少制御が可能である。
- O⁻ 照射により、
 - (1) Zn-O 結合の強化
 - (2) 酸素空孔の削減及び Zn-OH の脱離が確認できる。
- O⁻ 照射による GZO 膜の結晶構造の変化は無く、 μ と n_e を制御できる。

水素ガスセンサ性能向上

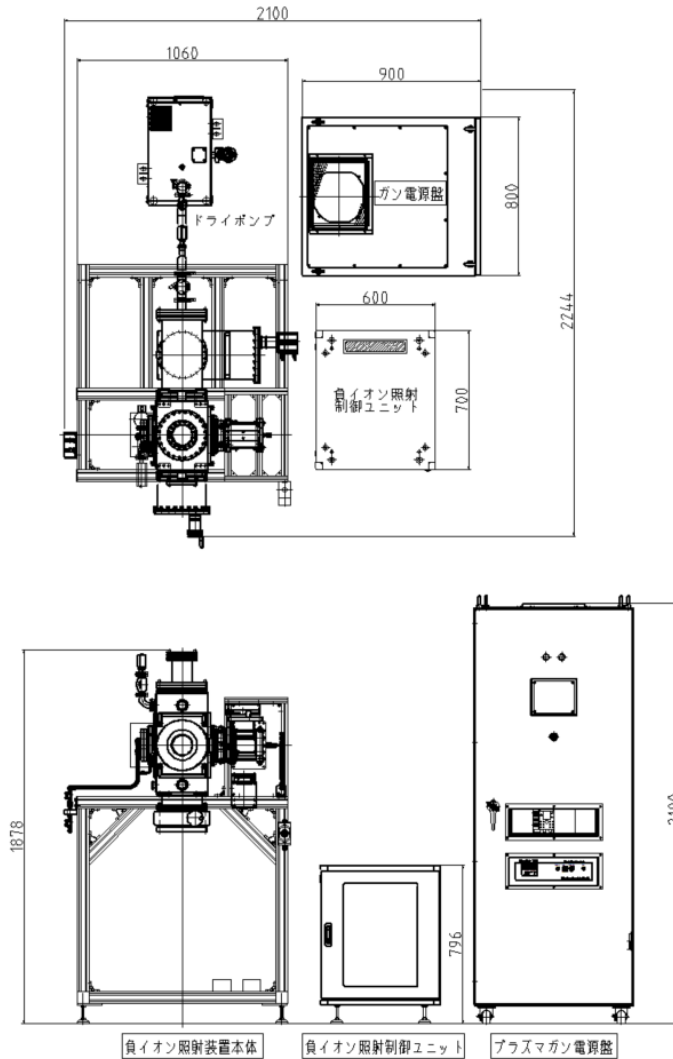


- O⁻ 照射による酸素空孔の削減後、更に O⁻ 照射を行うことで、O⁻ は粒界 (GB) に捕獲される。
- O⁻ 照射により、水素検知機構である (2) 式から反応が始められるので、高速応答 (<1 s) 及び安定化を実現できる。

- ✓ 成膜後での酸素空孔制御
- ✓ 水素検知の高速・安定化

*山本他, J. Vac. Soc. Jpn., Vol. 60, No. 8, pp. 292-299 (2017).

評価機の仕様



酸素負イオン照射評価機のレイアウト例

評価機仕様

基板サイズ	最大 4 inch (φ101.6 mm)
基板温度	室温 ~ 800 °C
到達真空度	5.0×10 ⁻⁵ Pa 以下
処理時圧力	0.2 ~ 1.0 Pa 程度
バイアス電圧	最大 100 V
導入ガス	O ₂ , Ar (NH ₃ , CH ₄ などは検討中)

ユーティリティ

フットプリント	2.1 m × 2.3 m
冷却水	40 lit/min (0.5 MPa)
プロセスガス	Ar 100 sccm 以上 × 2 系統
	O ₂ 100 sccm 以上 × 1 系統
圧縮空気	0.5 MPa ~ 0.6 MPa
真空ポンプ排気	2.8 Nm ³ /min
電力 (AC 200 V)	40 KVA
電力 (AC 100 V)	3 KVA
アース	C 種接地 10 Ω 以下

住友重機械工業株式会社

産業機器事業部 医療・先端機器統括部 営業部

<https://www.shi.co.jp>

本社 〒141-6025 東京都品川区大崎2-1-1 ThinkPark Tower TEL:03-6767-2570 FAX:03-6866-5114

関西支社 〒530-0005 大阪市北区中之島2-3-33 大阪三井物産ビル TEL:06-7635-3629 FAX:06-7711-5104

2023.9