

## 異種材料接合基板における界面構造解析

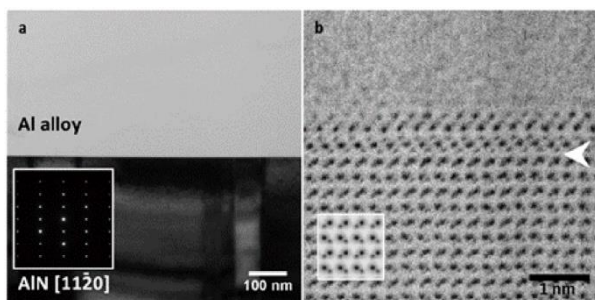
利用者：<sup>a</sup>三菱マテリアル株式会社, <sup>b</sup>東京大学 黒光祥朗<sup>a</sup>, 熊本明仁<sup>b</sup>  
 研究支援者：東京大学 柴田直哉, 幾原雄一

## 【研究目的】

ハイブリッド自動車等に搭載されるIGBTモジュール用絶縁回路基板として長い採用実績のあるアルミ回路付きセラミック絶縁基板（DBA基板：Direct Bonded Aluminum基板）は、接合温度や添加元素等、様々な条件の最適化によってアルミニウムとAlNの強固な接合を実現している。本研究においては、より強固なアルミニウムとAlNとの接合を目的に、これまで十分な知見が得られなかった原子レベルでの界面接合のメカニズムを直接観察によって解明する。

## 【成果】

1 Å以下の分解能を有するSTEM法と超高感度なX線分析手法を用いた特定のアルミ合金とAlN基板の界面における原子レベルの組成分布解析を行ったところ、上記アルミ合金とAlN基板の界面には、アルミ合金元素であるMg原子が単原子層構造を形成していることを世界で初めて明らかにした。また、この周囲には酸素（O）原子も層状構造を形成しており、数原子層レベルで複雑な界面層状構造が自己組織的に形成されることがわかり、アルミニウムとAlN基板の界面においては、MgやO原子が界面遷移構造を形成することで極めて強固な接合を実現できることが明らかとなった。アルミニウムとAlN基板という異なる材料の接合メカニズムの解明は、金属とセラミックスを安定かつ強固に接合するための原子レベルの指針を与えるものであり、今後のパワーモジュール用絶縁回路基板開発やその性能向上に大きく貢献することが期待される。

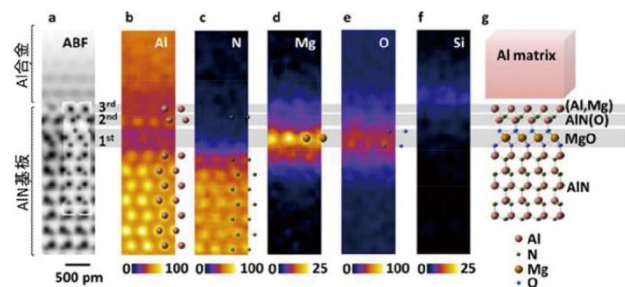


a. Al合金とAlN基板界面のTEM像と電子回折図形

TEM像から接合界面は平坦であることがわかる。

b. 界面の原子分解能環状明視野(ABF)-STEM像

ABF-STEM像は原子位置が黒いコントラストになり、AlN側の軽元素を含めた原子カラムが明瞭に観察できる。Al合金側は結晶方位がランダムな方向を向いているため、原子位置は特定できていない。図b中矢印で示した位置からAlN構造とは異なるコントラストが現れており、界面に層状の遷移構造が存在することがわかる。



Al合金とAlN基板界面の超高感度原子分解能X線分析結果

a. ABF-STEM像とシミュレーション像（挿入図）

b-f. 各元素の特性X線マッピング像

Mgが界面部分に単原子レイヤーの構造を形成していることがわかる。また、その周囲には酸素原子レイヤーが存在しており、複雑な界面層状構造を形成していることがわかる。SiはAl合金側に偏析している。

g. 今回の観察から得られた界面原子構造の模式図。

## 【支援実施機関からのコメント】

原子分解能STEMを用いた原子スケールX線マッピング手法は未だ発展途上の技術であり、観察初期には多くの試行錯誤や理論検証が必要でした。特に、装置本体の超安定化、試料作製の最適化、チャネリング効果の低減、高度スペクトル解析などを一つ一つ解決する必要がありました。しかし、粘り強く観察・解析を続けた結果、Al/AlN界面に局在する単原子層Mgの検出に世界で初めて成功しました。このような極微量元素が原子レベルでAl/AlN接合を強化するという知見は科学的にも工学的にも画期的であり、今後の産業応用への展開が大きく期待できます。

## 【参考文献等】

[1] A. Kumamoto, et al., *Sci. Rep.* **6**, 22936 (2016)