

溶融接合された金属/窒化物界面の原子分解能 STEM-EDS マッピング

東京大学大学院工学系研究科 熊本明仁 柴田直哉 名雪桂一郎 藤平哲也 幾原雄一
三菱マテリアル株式会社中央研究所 寺崎伸幸 長友義幸 長瀬敏之
秋山和裕 黒光祥郎

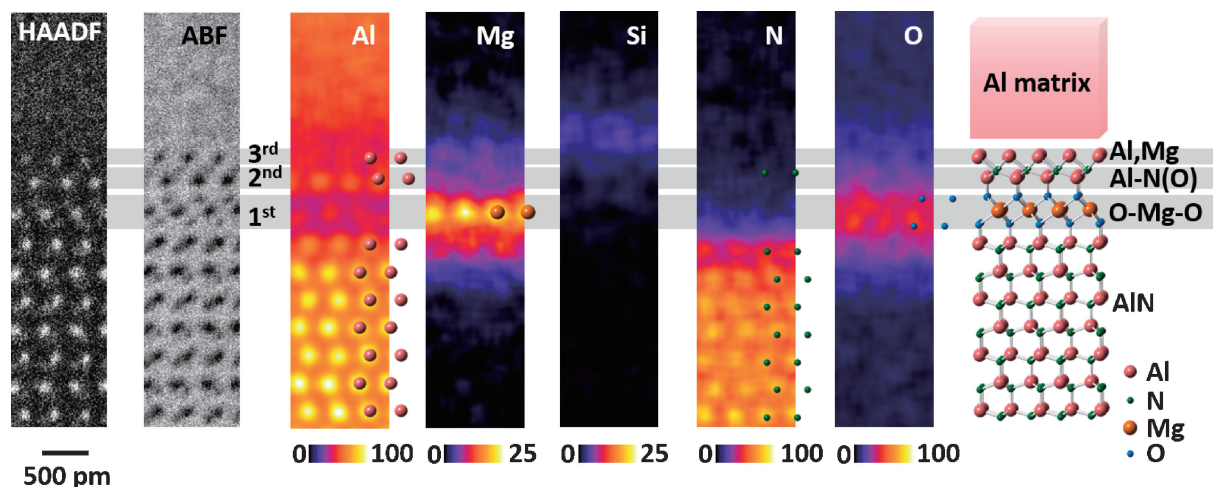


Fig. 1 Al合金とAlN単結晶界面の原子分解能STEM-EDSマッピング. 左から順にHAADF像, ABF像, 対応するAl, Mg, Si, N, OのEDSマップ及び構造モデル.

添加元素や不純物を含む結晶の接合界面には、複数の元素が関与し、バルク結晶とは異なる界面構造の形成が期待される。この複雑な界面の構造解析には、原子分解能での元素識別を可能にするSTEMが極めて有効である。我々は、総面積200 mm²の大口径シリコンドリフト型EDS検出器を搭載した収差補正STEMにより、JIS規格Al合金(A6063)とAlN単結晶基板の溶融接合界面における原子レベルでの構造解析に成功した⁽¹⁾。

Fig. 1は、上記Al合金とAlN単結晶との溶融接合界面のSTEM-EDSマッピングの結果を示している。高角散乱環状暗視野(HAADF)像の明るい点と環状明視野(ABF)像の暗い点状のコントラストから、界面にはAlN結晶にコヒーレントな1st, 2nd及び3rdの層状の遷移構造を形成していることがわかる。さらにSTEM-EDSマップでは、Al合金中に含まれていたMg(0.42原子%)は、接合によりAlN単結晶との界面に単原子層だけ偏析しているが、Si(0.38原子%)は、Al合金側に極大分布を示し界面遷移構造に寄与していないことがわかる。また、軽元素であるN元素マップはAlNのウルツ鉱型構造のN原子カラムに対応し、O元素マップは界面でMg単原子層構造の周囲近傍に分布していることがわかる。このような原子レベルでの構造の可視化により、幾つかの単純

な界面原子モデルを構築し、第一原理計算による接合強度の安定性が評価できるようになる。我々は、極性を考慮したAlN, MgO, Alの異なるバルク結晶間での界面スラブモデルを用い、それぞれの固着エネルギーの評価を行ったところ、Al-AlN系の接合界面にO-Mg-Oの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を見出した。

溶融接合はプロセスが単純であることから絶縁回路基板の製造において実用に至っている⁽²⁾。今回用いたAl合金は、JIS規格内で多数の不純物金属元素を含んでいる。原子分解能STEM-EDSはこれらの金属元素も分析対象にしているが、原子的操作を施すことができない溶融接合であるにもかかわらず、Al, Mg, N, Oの特定の元素のみが安定な界面構造形成に寄与していることが明らかになった。このように溶融接合界面構造を原子レベルにて解析することによって、実用材料の接合信頼性向上のための理論的材料設計指針を得ることができた。

文 献

- (1) A. Kumamoto, *et al.*: Sci. Rep., **6** (2016), 22936.
- (2) Y. Kuromitsu, *et al.*: 6th Int. Conf. Integrated Power Electronics, (2010).

(2016年7月25日受理) [doi:10.2320/materia.55.611]

Atom-resolved STEM-EDS Mapping of a Liquid-phase Bonded Metal/Nitride Heterointerface; Akihito Kumamoto*, Naoya Shibata*, Kei-ichiro Nayuki*, Tetsuya Tohei*, Nobuyuki Terasaki**, Yoshiyuki Nagatomo**, Toshiyuki Nagase**, Kazuhiro Akiyama**, Yoshirou Kuromitsu** and Yuichi Ikuhara* (*Institute of Engineering Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo. **Central Research Institute, Mitsubishi Materials Corporation, Ibaraki)

Keywords: scanning transmission electron microscopy (STEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), metal/ceramic interface

TEM specimen preparation: Ar ion milling (1.5–5 keV, ±1.5°)

TEM utilized: JEOL JEM-ARM200F (200 kV)