

パワーエレクトロニクス材料の 低温大気圧ハイブリッド接合

重藤 暁津

独立行政法人物質・材料研究機構 (NIMS)

NIMSフォーラム

2015/10/07

1. 技術背景

- なぜSiCとGaNの「接合」なのか
- 混載接合に何が必要か

2. 過去の検討：VUV/vapor-assisted 手法

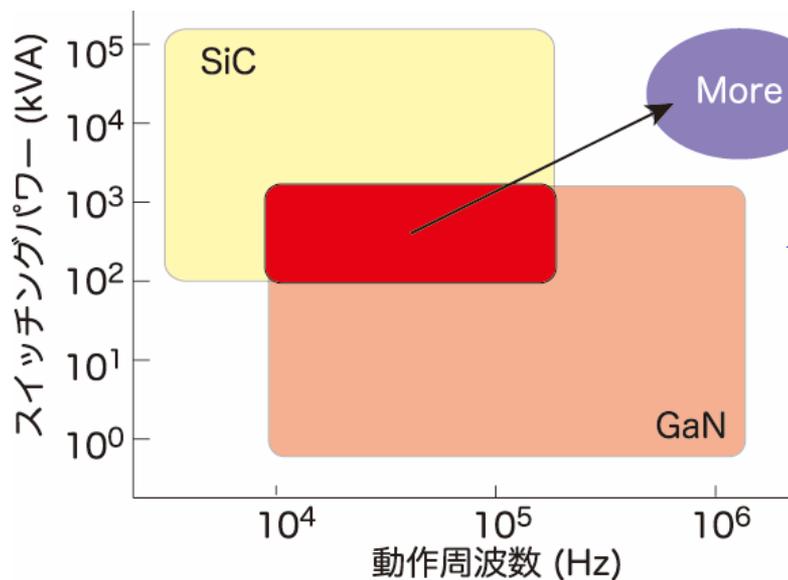
- 接合方法と接合事例：何が為されていないか

3. VUV and vapor-combined 手法

- 手法概要と実験手順
- 表面改質効果の確認と基礎的な接合実験

4. まとめ

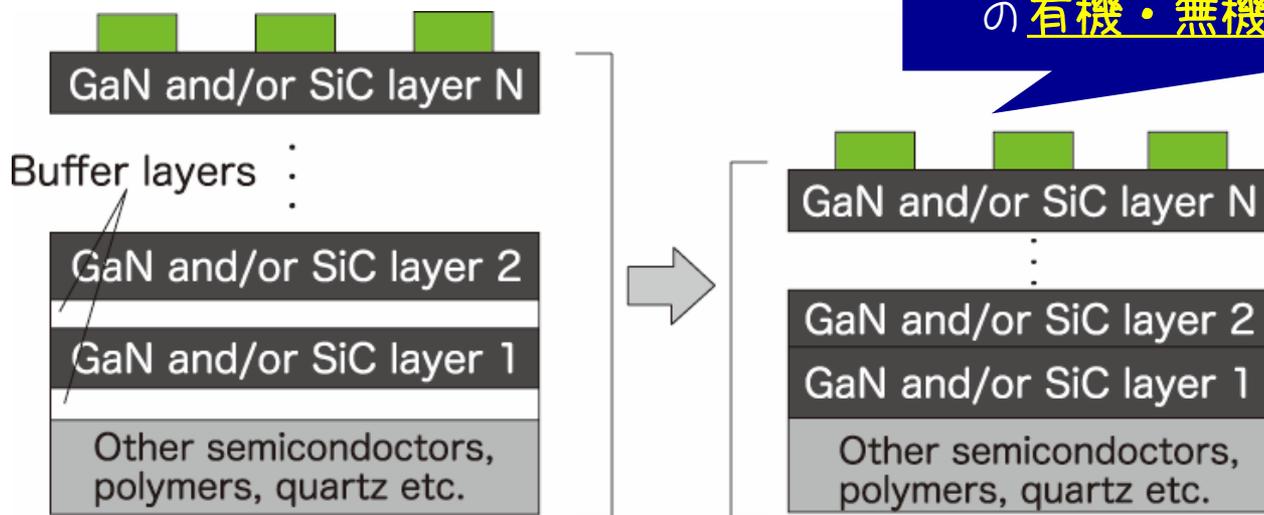
背景：なぜSiCとGaNの「接合」なのか



SiCとGaNの動作可能領域模式図

1. パワー/グリーンデバイスの要求
2. ハイブリッド化による獲得可能な物性領域の拡大

3. 異種材料薄膜の積層の要求
4. エピタキシャル成長によるbottom-upな積層工程の困難さ
5. 薄型化の要求
6. 従来半導体基板，可撓性基板などとの有機・無機混載の可能性

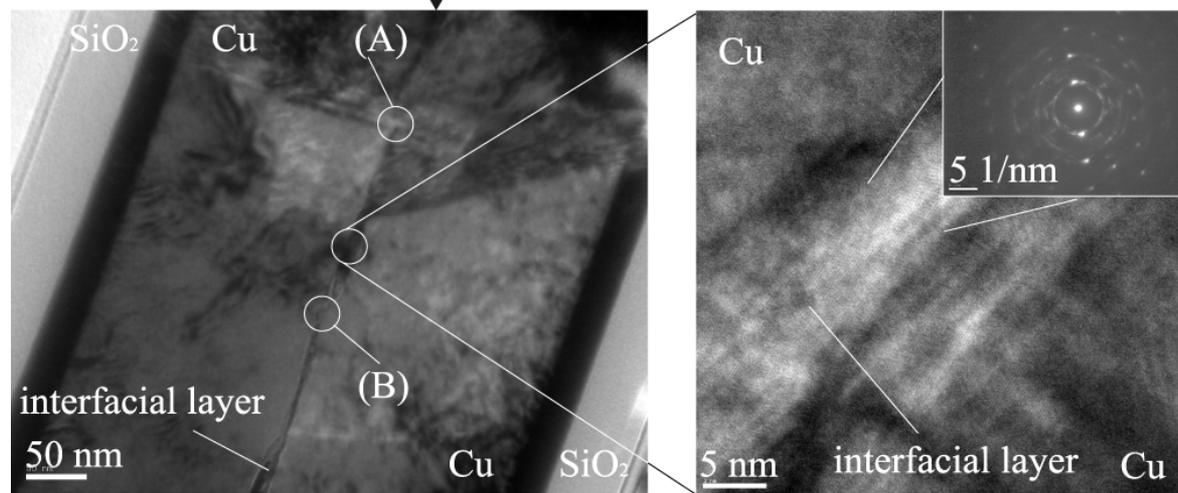


SiCならびにGaNの混載システムに求められる構造模式図

1. 異種材料が混在する表面間の接合：異種材料への汎用性
2. CTEミスマッチ，有機材料の耐熱性：プロセス低温化 (< 150 °C)
3. プロセス/環境負荷の低減：大気圧プロセス，簡易なプロセスパラメタ



- ① 全工程を大気圧で実行する = 何らかの分子吸着が避けられない
- ② 完全な“表面活性化”状態を保つのは難しいし，実は必須でもない



表面間に中間層が残存しても150°C以下・低温でCu-Cu接合が達成された事例：酸化皮膜厚の成長を母材原子のプロセス温度における拡散距離より低く制御することで十分な接合性が得られた. Shigetou et al., Appl. Phys. Exp. 2009.



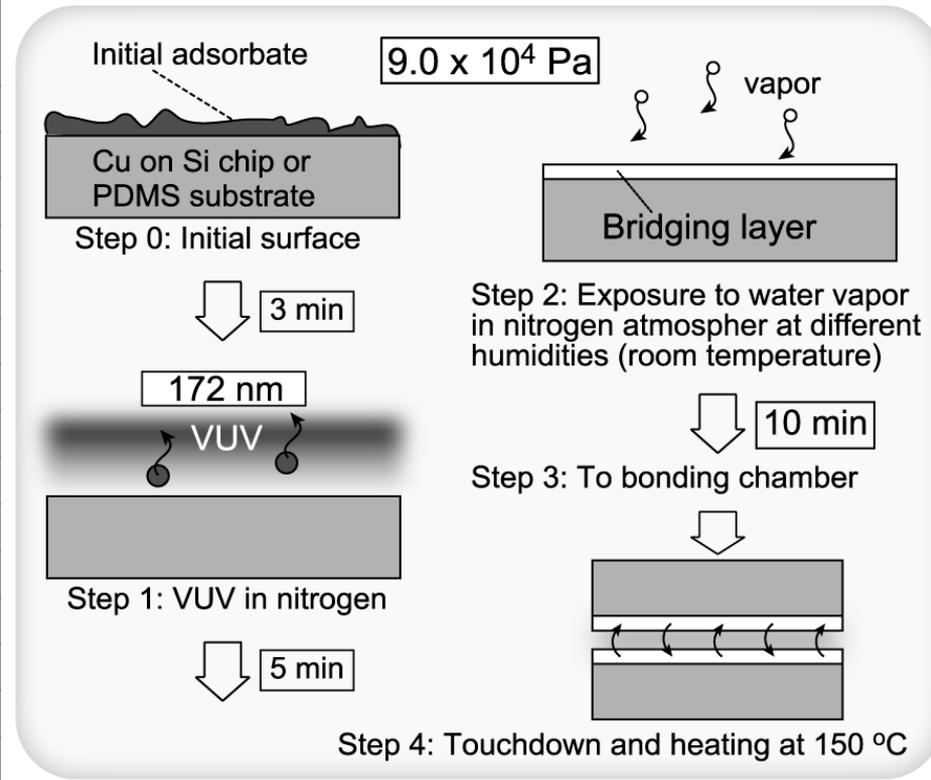
大気圧雰囲気中で形成される皮膜の構造を制御し，架橋能を発現させる



1. 真空紫外光 (vacuum ultraviolet, VUV) : 窒素雰囲気中で利用可能
2. 水和物架橋 : 水素結合+脱水縮合による界面安定化, 皮膜形成挙動が明確

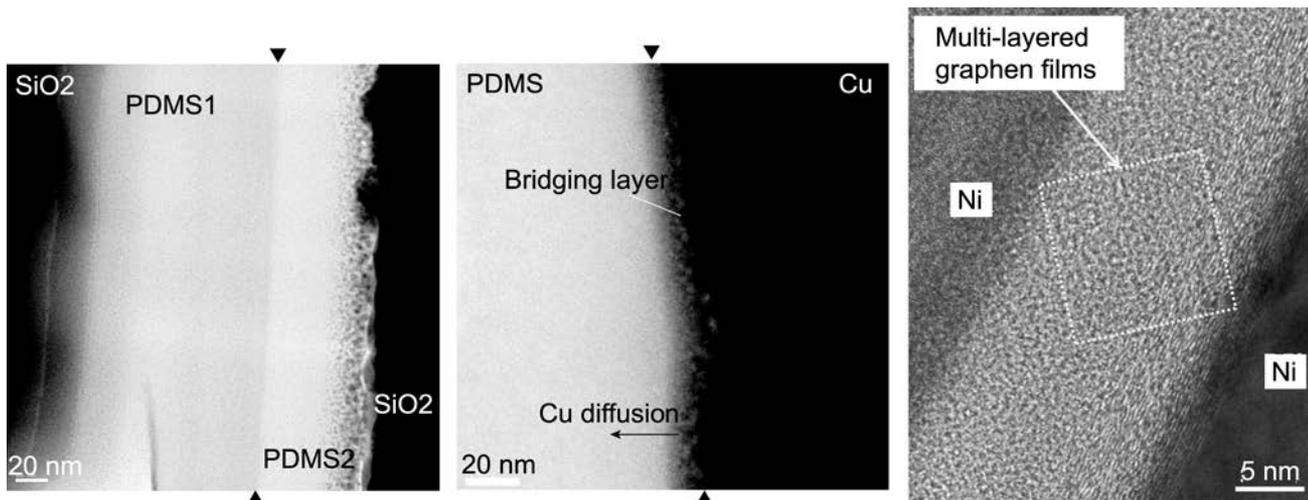
結合種	結合エネルギー		波長 (nm) (注1)
	kcal/mol	kJ/mol	
C≡C	188.8	791.1	151
C≡N	222.2	931.0	129
C=O	190.0	796.1	151
C=C	140.5	588.7	204
H-F	134.9	565.2	212
O=O	117.5	492.3	243
C-F	115.2	482.7	248
O-H	109.3	458.0	262
H-Cl	101.9	427.0	281
C-H	97.6	408.9	293
N-H	91.9	385.1	311
C-C	84.3	353.2	339
C-Cl	76.9	322.2	372
C-O	76.4	320.1	374
C-N	63.6	266.5	450

各種結合種の解離に必要なエネルギーと対応する波長の一覧



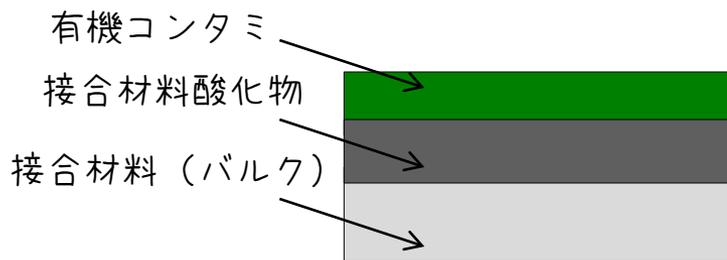
VUV / vapor-assisted低温大気圧接合手法手順の概要.
 使用波長は172 nm, VUV照射後の表面に体積湿度
 (g/m^3) を調整した純水蒸気を導入.
 関連特願: 2013-064468, 2013-184450

低温大気圧で有機 / 無機ハイブリッド化を実現



VUV/vapor-assisted手法による有機-無機ハイブリッド接合事例：（左）ポリジメチルシロキサン（PDMS）- PDMS, （中）Cu PDMS, （右）グラファイト（グラフェン）- グラファイト（グラフェン）。その他も事例有. Shigetou et al., SSDM 2014, A. Mano ICEP 2014など。

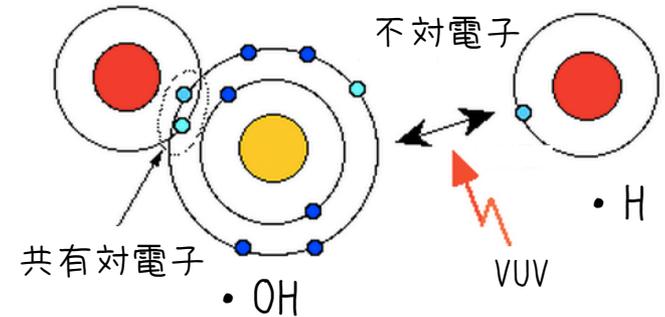
弱点：酸化物の除去（還元）能力が不十分



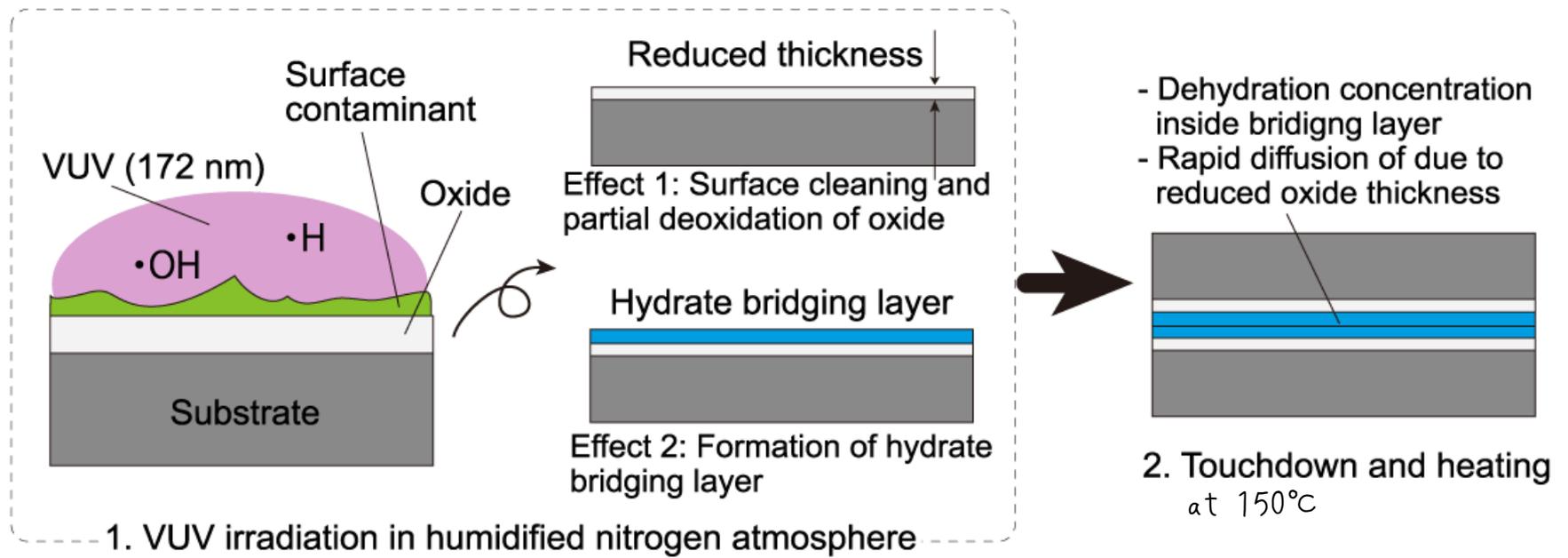
VUVのみで完全除去可能

酸化物厚が大きいと接合性が低下：
特に半導体や金属の接合に懸念が残る

- Hラジカルによる還元効果とOHラジカルによる架橋形成効果, ならびに表面コンタミ除去効果の同時獲得を図る
- 体積湿度 (g/m^3) と VUV照射時間 (s) をパラメータに化学結合状態をX線光電子分光法 (XPS) で評価

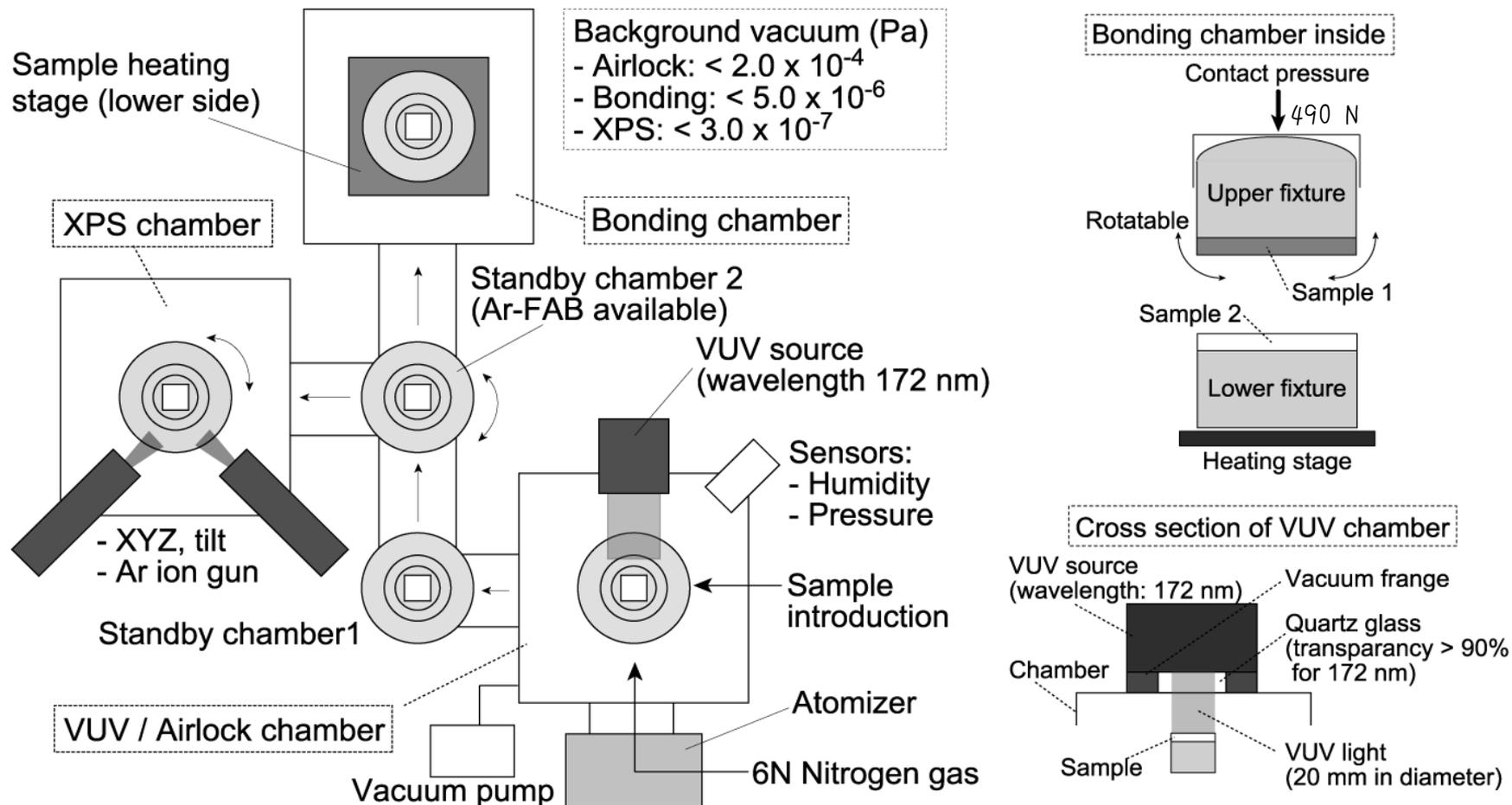


Nitrogen atmosphere (at around 9.0×10^4 Pa)



VUV and vapor-combined手法：装置概要

- フリップチップボンダをXPSならびにVUVチャンバと連結した構造
- 試料サイズ10 x 10 mm², XPS解析は広帯域 (1eVステップ) と角度分解法 (0.1 eVステップ)

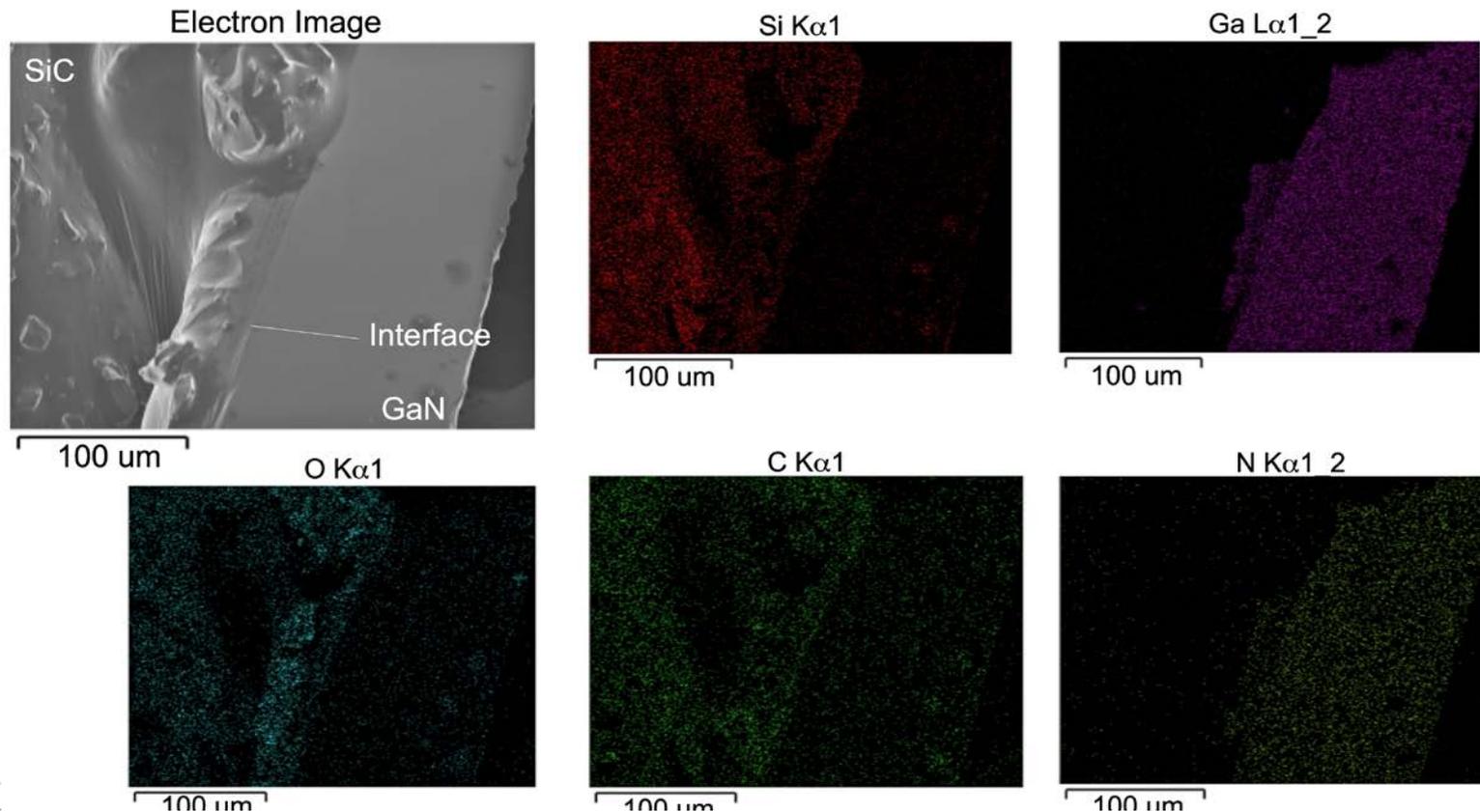


VUV and vapor-combined手法を用いた接合ならびに表面分析装置概略。

- GaN : Gaサイトに水和物架橋が形成されることが確認された
- SiC : 最表面が SiO_{2-x} 化し, SiCと SiO_{2-x} が混在した表面が形成された
- 架橋層厚の成長は一定の照射量で飽和する (それ以前は照射量にほぼ比例)



- SiCとGaNの大気圧低温接合を実現 (その他Si系材料との混載接合も確認)



SiC / GaN接合界面の : (左上) 走査電子顕微鏡 (SEM) 像, ならびに (その他) EDXマッピング像.

- SiCとGaNの大気圧低温接合が実現された
 - 接合手法としてVUV and vapor-combined手法を提案し、プロセスウィンドウを明らかにした
 - 接合面積の拡大や電気特性評価を今後の課題とする
-
- 加湿窒素雰囲気の利用により表面清浄効果と水和物架橋形成効果を両立
 - GaNはGaサイトに水和物架橋形成
 - SiCは最表面がSiO₂ライクな構造に変化、シラノールリッチな表面形成
 - 密着した界面を獲得

本研究は文科省/日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 26289112 (H26 H28) などにより実行されました。ここに篤く御礼を申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。
Thank you for your attention.