

超伝導デバイスの三次元実装のための Nb-Nb 表面活性化接合

SATテクノロジー・ショーケース2022

■ はじめに

超伝導トンネル接合検出器や量子ビットなどの超伝導デバイスは、非常に大きな勢いで開発されている。これらのデバイスの初期段階では、数個のデバイスを同一平面上に配置し接続することは難しくない。しかし、更なる小型化・高集積化を実現するためには、同一平面上での接続では限界がある。そのため、超伝導デバイスをウェハとチップに分ける事による3次元的な集積化が必要となる。超伝導デバイスの3次元集積化には、低温・ドライプロセスが適しているが、高真空中で高速原子ビーム(FAB)を用いて接合面を洗浄・活性化した後、室温で荷重をかけて接合する表面活性化接合(SAB)もその一つである[1]。

本研究では、超伝導デバイスの3次元積層技術を検証するために、超伝導金属として一般的なNbを直接接合し、その超伝導特性について調査した。

■ 活動内容

1. Nb-Nb表面活性化接合サンプルの作製

図1にSABによって作製したサンプルを示す。本サンプルは、バンプアレイチップ(図中のChip)と配線基板(図中のSubstrate)からなり、高真空中でFABを照射し接合表面を活性化した後、直接接合を行うことで作製した。接合前のチップと基板の表面は、化学機械研磨(CMP)処理を行うことで表面粗さが0.2 nm程度まで平坦化した。

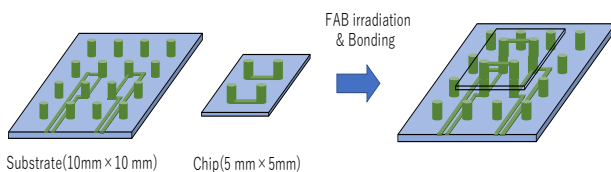


Fig.1. Bonding process

2. 超伝導特性の評価

上記のように作製したサンプルに関して0.3 K下の極低温における超伝導特性の評価を行った。図2(a)に I - V 特性を示し、図2(b)に昇温時の R - T 特性を示す。同図より、5 mA以上の超伝導電流がバンプ内を流れる事が確認でき、Nbの超伝導転移温度(約9.2 K)付近で超伝導転移していることも合わせると、SABによって接続されたNb-Nbバンプは良好な超伝導特性を有している事が分かった。

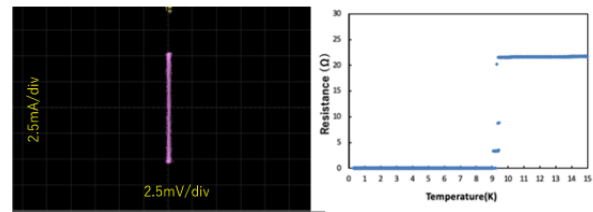
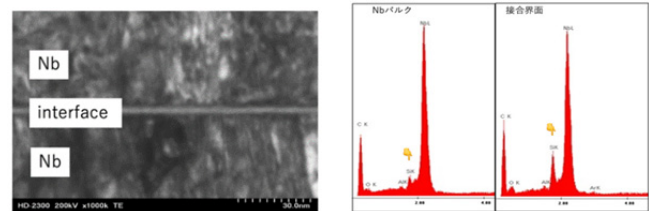
(a) I - V characteristics (b) R - T characteristics

Fig.2. Low temperature measurement @0.3 K

3. 接合界面の観察

低温測定を行ったNb-Nbサンプルについて透過電子顕微鏡(TEM)を用いて接合界面の観察を行った。図3(a)にTEMで観察したNb-Nb接合界面を示し、図3(b)にNbバンプ部分と接合界面におけるEDX分析結果を示した。同図より、Nb-Nb接合界面には約3 nmの中間層が存在していることを確認でき、EDX分析よりこの中間層はSiであると分かった。中間層が発生する原因は、接合を行う際のFAB照射によって治具が削られ表面に堆積したからであると考えられる。しかし、上記の I - V 特性を踏まえると、FABによって堆積する数nmの中間層は、超伝導特性に大きな影響は与えないと考えている。これらの結果は、本技術が超伝導デバイスの3次元実装構造の実現に極めて有効な手段である事を示している。



(a) TEM image

(b) EDX analysis

Fig.3. Observation of bonding interface

■ 参考文献

[1] A. Shigetou, T. Itoh, and T. Suga, "Direct bonding of CMP-Cu films by surface activated bonding (SAB) method", *J. Mater. Sci.*, 40 pp.3149-3154 (2005)

■ 関連情報等(特許関係、施設)

本研究(の一部)は(国研)産業技術総合研究所ナノプロセス施設において実施された。

代表発表者 高橋 悠太(たかはし ゆうた)
所 属 埼玉大学大学院
国立研究開発法人産業技術総合研究所
デバイス技術研究部門
3D 集積システムグループ
問合せ先 〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1
中央第1本部・情報棟
TEL: 029-861-8693
takahashi-yuta@aist.go.jp

■キーワード: (1) 超伝導
(2) 表面活性化接合
(3) バンプ

■共同研究者: 藤野 真久(産総研)
仲川 博(産総研)
菊地 克弥(産総研)
田井野 徹(埼玉大)