

パワー半導体デバイスの断面観察技術の検討

小柴 佳子（電子技術部電子デバイスグループ）

1. はじめに

パワー半導体デバイスは、電力変換・制御デバイスとして産業機器、電鉄車両、電気自動車などに用いられている。世界的問題である地球温暖化を抑制するためのカーボンニュートラル社会の実現に向けて、効率的なエネルギー利用のためにパワー半導体デバイスの高性能化・高効率化が望まれており、デバイスの半導体素子に従来用いられてきた Si よりも優れた物性を有する SiC や GaN を適用したデバイス開発が行われている。SiC や GaN は Si に対して高耐圧・高耐熱であるために高温動作化が図れることがメリットのひとつである。例として、従来の Si デバイスでは動作温度は 200℃程度であったものの、SiC デバイスでは 250℃程度が想定されている^[1]。図 1 に従来のパワー半導体デバイスの簡易的な断面模式図を示す。Si デバイスにおいては半導体素子と裏面配線との接合部に Sn-Ag-Cu 系はんだが広く用いられているが、SiC デバイスに期待される 250℃動作には Sn-Ag-Cu 系はんだは用いることができず、高耐熱性の接合技術として金属ナノ粒子を用いた接合技術が有望視されており^[1]、Ag や Cu、Ni ナノ粒子を用いた接合技術が研究されている。

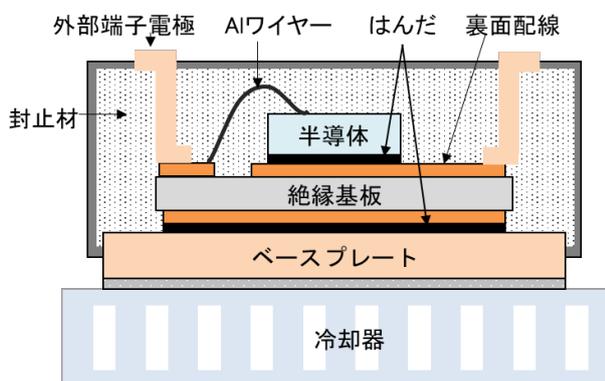


図 1 パワー半導体デバイス断面模式図

新たな接合材料を適用する場合、接合部の機械的強度や電気的特性評価が行われるが、それらには被接合材である基板や半導体素子と接合材との界面状態や接合材内部のマイクロ組織等が影響を及ぼすと考えられるため、接合部の断面観察も必要となる。そのためには機械的研磨による試料作製を行うことになるが、接合部には半導体素子、接合材となる金属、裏面配線の Cu、絶縁基板のセラミックスと、それぞれ硬さが大きく異なる材料で構成され、硬さの異なる材料を均一に研磨することは難しいと考えられる。

機械的研磨による断面観察試料の作製技術は、金属材料のマイクロ組織を観察し、その特性を明らかにするための技術として発達してきた。研磨工程は粗研磨→中間研磨→仕上げ研磨の工程に大別される。粗研磨はヤスリやグラインダー、粗い研磨紙などで観察部位をおおまかに現出させ、試料面を平坦にする作業、中間研磨は#300～1500 程度の研磨紙などによる研磨作業、仕上げ研磨は研磨布と金属酸化物やダイヤモンドの研磨砥粒とを用いて、観察面を鏡面にするまでの作業である。各工程において、研磨紙や研磨砥粒の種類や粒度、研磨布の種類、試料にかかる荷重、研磨時間などの条件の調整を行う。顕微鏡によるマイクロ組織観察を可能とするためには、平滑性、平面性を持ち、加工変質層のない仕上がりの試料前処理や研磨作業が求められる。平滑性とは、顕微鏡観察の際に組織の判定に支障をきたす条痕が存在しない観察面に仕上げることであり、平面性とは顕微鏡の焦点深度に関わるものであり、例えば軟質組織中に硬い物質が存在すると、硬い部分が浮彫り状に凸になるため、写真撮影時に全体に焦点を合わせるのが難しくなる。加工変質層とは、試料切断時の機械加工や、研磨時の応力などによって介在物などの脱落が生じたり、研磨面の硬い突起などの影響で本来とは異なる組織が現れたりしてしまうことである^[2]。

研磨条件の選択を誤ると、試料本来の組織・構造を損なうが、材料特性に適した研磨条件を選択できれば硬度の異なる材料で構成される試料のマイクロ観察が可能となる。そこで本研究では、接合材開発過程を想定し、半導体チップと絶縁基板とを金属ナノ粒子接合材で接合した模擬試料について、その断面を顕微鏡で観察可能となるような研磨条件の検討を行った。

2. 実験及び結果

研磨対象となる接合試料として、半導体素子には Si チップ、絶縁基板には窒化アルミニウムに Cu が貼り合せられた DBC(Direct Bonded Copper)基板、接合材には Ni ナノ粒子と別の金属種のマイクロサイズの粒子含む接合材を用い、接合試料を作製した。接合試料を常温硬化性のエポキシ樹脂に包埋し、研磨試料とした。図 2(a)に研磨試料の外観、図 2(b)に断面構造の模式図を示す。

研磨は自動研磨機・ヴァーダー・サイエンティフィック製 Qpol250 を用いて行った。装置外観を図 3 に示す。本装置は研磨盤および試料を装着するヘッドが回転する。図 3(b)のようにヘッドの治具に試料を入れ、試料にピンを押し当てて荷重をかけながら、研磨盤とヘッドを回転させる

機構になっており、研磨盤とヘッドの回転数、試料にかかる荷重を制御することで研磨を行うものである。

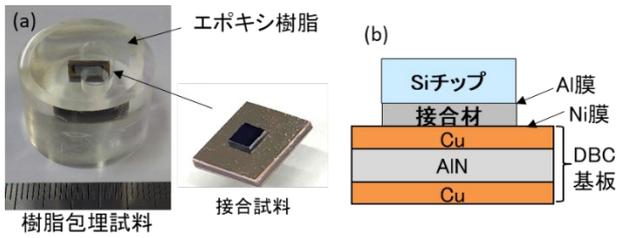


図2 試料概要, (a)試料外観, (b)試料断面構造模式図

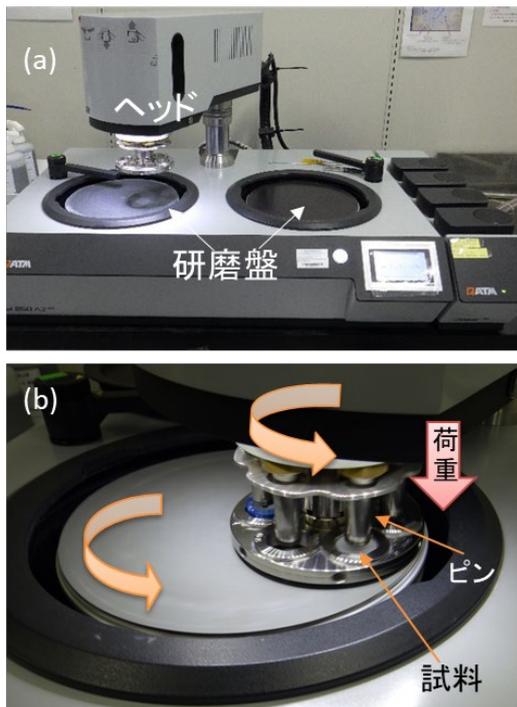


図3 研磨装置外観, (a)全体, (b)ヘッド部分拡大・研磨時の様子

当所では、粗研磨および中間研磨に用いる材料として、耐水研磨紙と研磨ディスクを保有している。図4にそれらの外観写真を示す。耐水研磨紙はSiC砥粒が接着されており、研磨ディスクはダイヤモンド砥粒が接着されているものである。仕上げ研磨に用いる研磨布も複数保有している。保有している一部の研磨布の外観を図5(a)~(c)、拡大観察写真を(d)~(f)に示す。写真からわかるように、用いられる繊維の太さや織り方など様々なものがある。また、研磨布と併用する研磨剤として、酸化ケイ素、酸化アルミニウム、ダイヤモンド砥粒を取り揃えている。本実験では、硬質材料向けの工程を組み合わせた条件A、Cuなどの非鉄金属向けの工程を組み合わせた条件Bで研磨を行った。研磨条件の概要を表1に示す。今回は、接合部内部の構造や界面状態の観察が目的のため、組織現出のためのエッチングは行わなかった。

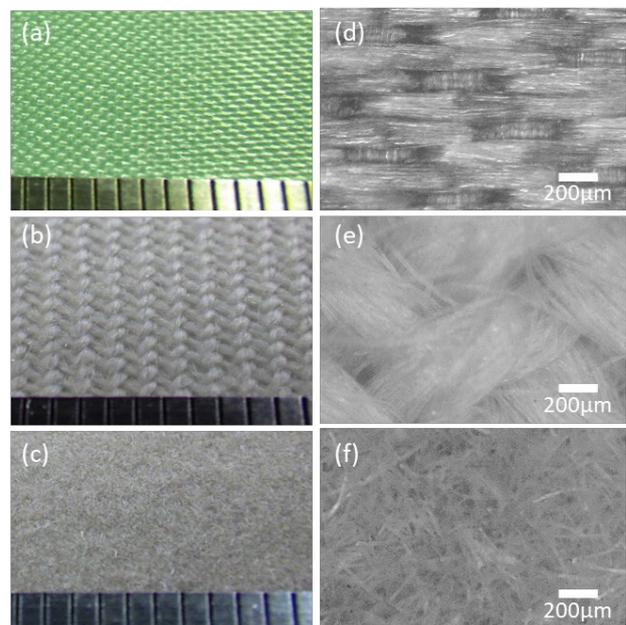


図5 研磨布外観, (a)硬質研磨布, (b)軟質研磨布, (c)軟質研磨布, (d)(a)の拡大観察, (e) (b)の拡大観察, (f)(c)の拡大観察

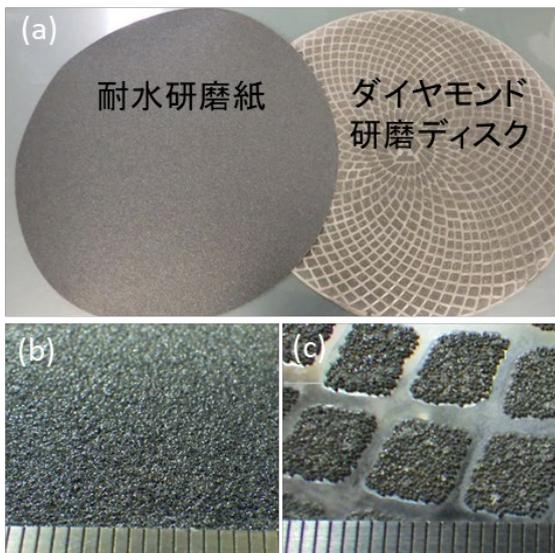


図4 研磨紙および研磨ディスク外観, (a)全体, (b)研磨紙拡大, (c)研磨ディスク拡大

表1 研磨条件概要

	条件A	条件B
粗研磨	ダイヤモンド研磨ディスク	SiC耐水研磨紙 P320
中間研磨 (1)	硬質研磨布 & ダイヤモンド砥粒	SiC耐水研磨紙 P500
中間研磨 (2)	硬質研磨布 & ダイヤモンド砥粒	SiC耐水研磨紙 P1200
中間研磨 (3)	軟質研磨布 & ダイヤモンド砥粒	軟質研磨布 & ダイヤモンド砥粒
仕上げ研磨	軟質研磨布 & 酸化ケイ素砥粒	軟質研磨布 & 酸化ケイ素砥粒

研磨後の試料を、金属顕微鏡・カールツァイス製 Axiolmager M1m を用いてマイクロ観察を行った。図 6(a)に研磨条件 A の試料、図 6(b)に研磨条件 B の試料の接合材およびその周辺の拡大観察結果を示す。図 6(a)では、観察面全体が明瞭で焦点が合っており、平面性が適切に確保されていると言える。Si チップ、接合材、DBC 基板の Cu が鮮明に観察でき、さらに DBC 基板上的 Ni 膜や、Si チップ下の Al 膜も界面が明瞭である。また、接合材中の粒子も明瞭に観察できる。観察の支障となるような条痕はなく、平滑性の高いマイクロ観察に適した仕上がりとなっていることが分かった。一方、図 6(b)では、写真上方に焦点が合っておらず、DBC 基板の Cu に条痕が見られており、平面性・平滑性が十分ではない仕上がりであると言える。

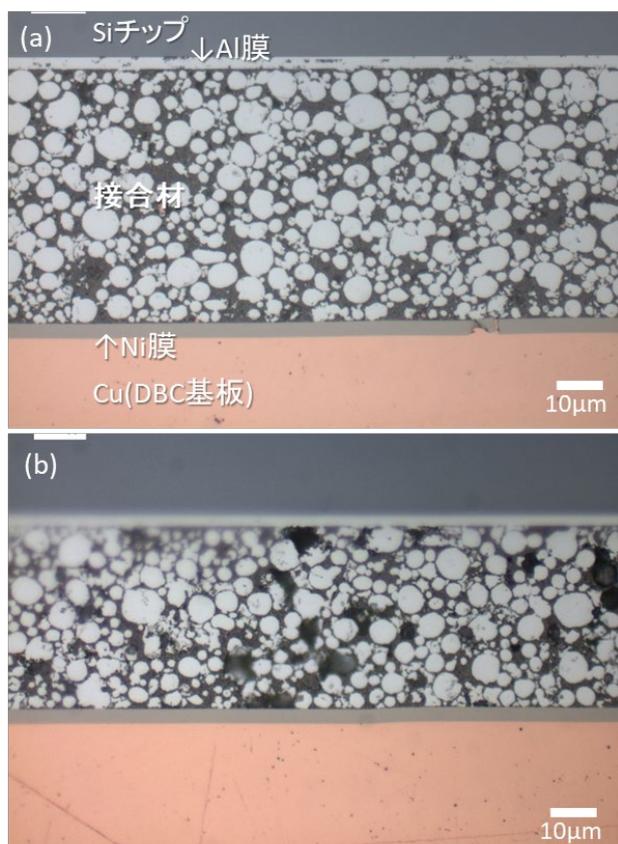


図 6 断面観察写真, (a)研磨条件 A, (b)研磨条件 B

3. 考察及び今後の展開

研磨条件 A および B での比較の結果、Si、AlN、Cu、Ni、Al と硬度の異なる材料で構成される試料断面のマイクロ観察試料作製には、硬質材料向けの研磨条件 A が適していることが明らかとなり、パワー半導体デバイス向けの接合材や構成材料の開発過程に有用な技術を構築できたと言える。

パワー半導体デバイスのみならず、実装基板などほかのエレクトロニクス製品においても、材料開発や信頼性評価において断面観察が必要とされる場合がある。それらも、半導体素子、有機基板や封止樹脂、はんだ、配線

材料や電極などの金属といった硬さの異なる材料の組み合わせであるため、断面観察試料の作製には困難が予想される。本研究では機械研磨による断面観察試料作製を行ったが、機械研磨以外にも電界で加速したイオンを試料に照射して試料表面の原子を弾き飛ばすことで試料を削るイオンミリング法があり、当初でも装置を保有している。今後、機械研磨およびイオンミリングによって、各材料特性に適した断面観察技術を確認していくことで製品開発支援の充実を図っていくことを目指す。

【参考文献】

1. 岩室憲幸 監修, 次世代パワー半導体の高性能化とその産業展開, シーエムシー出版 (2015)
2. 材料技術教育研究会 編, 組織検査用使用のつくり方, 大河出版(2008)