

超音波映像観察による半導体デバイスの故障解析

電子技術部 電子デバイスチーム 田口 勇
八坂 慎一

高耐熱・高電流密度に対応可能な半導体デバイスを実現し普及・展開を図るために、故障解析に関する高度な技術が求められている。本研究では、典型的な半導体デバイスについて、パワーサイクル試験を行い、超音波映像観察による非破壊評価を行うとともに断面構造観察による破壊評価を行った。その結果、当該試験によって音響特性が著しく変化した領域が発生し、その領域で剥離、空隙・割れの内部欠陥の全部または一部があることがわかった。

キーワード：半導体デバイス、故障、超音波、非破壊評価

1 はじめに

電気自動車等における半導体デバイスについて、高耐熱・高電流密度に対応可能であるなど高品質・高耐久性が求められている。そのため、内部欠陥など品質を詳細に把握し、故障原因を明らかにすることを目的とした故障解析が不可欠である。しかし、特に、耐久性評価試験としてパワーサイクル試験を実施した際に、超音波映像観察により内部欠陥の発生状況を詳細に把握できるか十分わかっていない。これを明らかにするため、本研究では、市販の典型的な半導体デバイスを対象としてパワーサイクル試験を行い、超音波映像装置 (Scanning Acoustic Tomography : SAT) による非破壊評価と断面構造観察による破壊評価を行った。

2 実験

市販の樹脂封止型ショットキーバリアダイオードを水冷方式の外部冷却器 (ヒートシンク) の上に市販の熱伝導シートにより機械的に接続した (図1)。次に、30秒毎に断続的に通電 (1分/サイクル) することによるパワーサイクル試験を行った。このとき、順方向電流の大きさは、定格電流 (30 A) 以下とするとともに、初期1サイクルにおいて、接合部温度の最大値 (T_{jmax}) が 150°C となるように制御した。なお、 T_{jmax} については、あらかじめサンプルの順方向電圧 (順方向電流 20 mA) の温度依存性を測定しておき、この温度特性を用いて推定することとした。また、接合部温度の最小値 (T_{jmin}) については、初期1サイクルにおいて 25°C となるように冷却水の温度を制御した。また、当該試験中に T_{jmin} が 30°C を超えた場合には自動停止することとした。そして、試験前と故障時の典型的なサンプルについて、中心周波数 100 MHz で分解能 $25.9\ \mu\text{m}$ の水浸探触子を用いた超音波映像観察を行った。その後、サンプルを機械的に切断・研磨し、レーザー顕微鏡による断

面構造観察を行った。なお、観察領域は接合層 (界面を含む) とした。

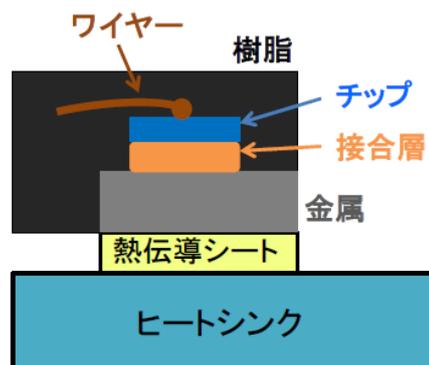


図1 パワーサイクル試験時の断面構造図

3 結果と考察

図2に、 T_{jmax} と T_{jmin} の履歴を示す。これより、約1万サイクル経過後からサンプルの接合部温度が不安定化し、故障症状が発生したとみられることがわかった。これは、放熱性能が低下したことなどが一因であると考えられる。次に、試験前と1万サイクル経過後の故障時について、SAT像とレーザー顕微鏡像を図3に示す。これにより、試験前において、接合層内部にはSAT像では把握できない数 μm 以下の微小な空隙が存在することがわかった。また、故障時においては、超音波映像観察により、音響特性が著しく変化した領域 (SAT像の白色部分) がみられ、レーザー顕微鏡像から、その領域の一部で剥離、空隙・割れがあることがわかった。これにより、この音響特性の変化は、音響インピーダンスの小さいこれらの欠陥の全部または一部の寄与によるものであると考えられるが詳細は不明である。

4 結論

パワーサイクル試験を実施し故障した樹脂封止型ショットキーバリアダイオードについて、音響特性が著しく変化した領域がみられ、その領域で剥離、空隙・割れの内部欠陥の全部または一部が存在することが把握できた。これにより、超音波映像観察は、当該試験を実施し故障した典型的な半導体デバイスにおける内部欠陥の発生領域の評価に有効であることがわかった。さらに、故障原因について詳細に評価するためには、故障が発生するまでの内部欠陥の成長・拡大の様子についても把握することが求められる。このとき、超音波映像観察が同様に有効であるかについては十分わかっておらず、より詳細な調査が必要である。

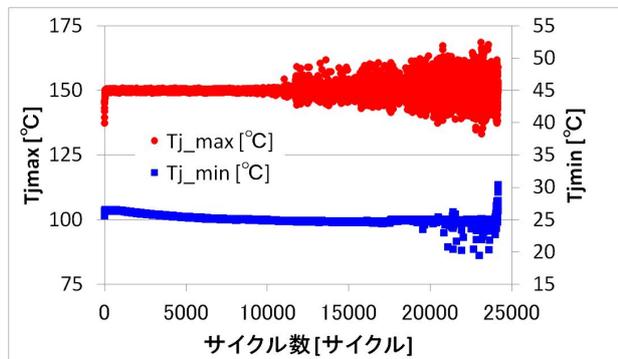


図2 T_{jmax} と T_{jmin} の履歴

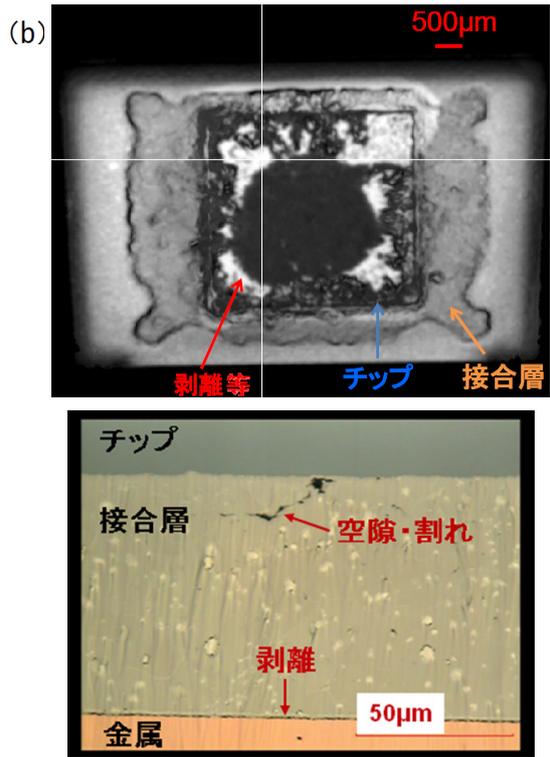
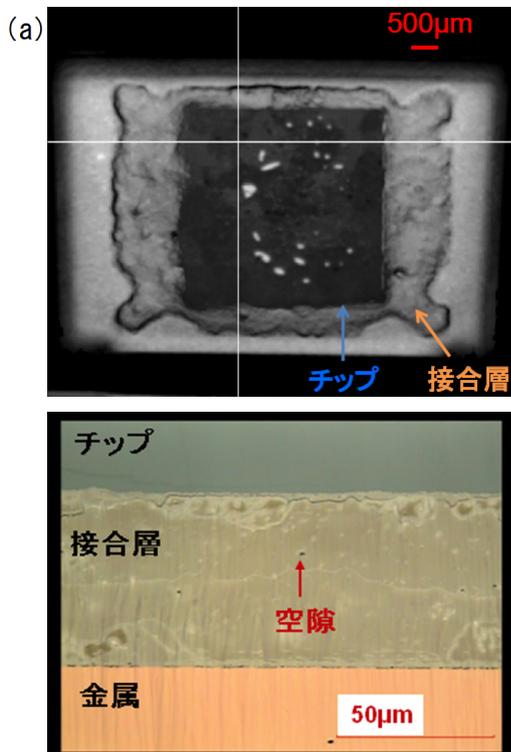


図3 SAT 像とレーザー顕微鏡像；
(a) 試験前, (b) 故障時