

超音波顕微鏡を用いたパワーモジュールはんだクラックの観察

○中野 智

九州大学 応用力学研究所 技術室

1.はじめに

パワー半導体は、スマートフォンやパソコン、テレビやエアコンといった一般家庭向けの機器だけでなく、電気自動車や鉄道、太陽光発電や産業機器など幅広い用途で活用されている。省エネ・省電力化の動きが今後も進むこと、自動車関連の需要が高いことから、今後さらなる市場規模の拡大が予想されている。

図 1 に簡略化したパワーモジュールの模式図を示す。パワーモジュールを使用する場合、通常は断続的に通電されているが、通電に伴って発生する熱は、異種材料接合部に応力を引き起こす。図 1 に示すように、銅基板-Si チップ、および Al ワイヤ-Si チップの接合にははんだが用いられているが、この異種材料接合部はそれぞれの熱膨張率が異なるため、繰り返しかかる応力によってはんだ部分に亀裂が発生し、ボンディングワイヤの剥離やはんだクラック(図 2)が引き起こされる。これらは電気抵抗や熱抵抗増加の要因となり、損失の増大や発熱による故障を引き起こす。

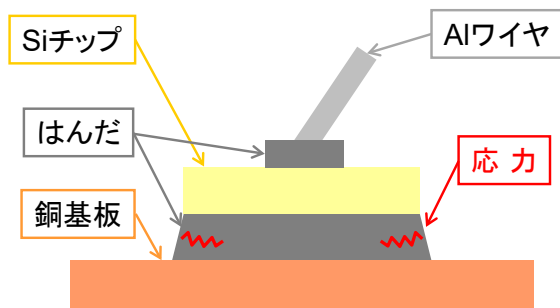


図 1 パワーモジュール模式図

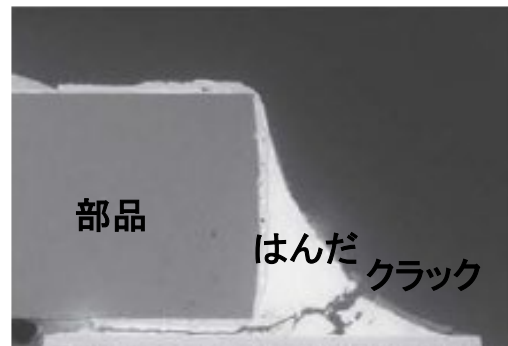


図 2 はんだクラック^[1]

断続的な強制通電を行うことで、周期的な発熱・ストレスを発生させることが可能なパワーサイクル試験装置(図 3)を用いて、強制的に劣化させたパワーモジュールを作製し、パワーサイクル故障の検出が可能なセンシング技術の開発に利用している。意図的に劣化させたパワーモジュールにおいて、どれくらいはんだクラックが進行しているかを確認したいため、超音波顕微鏡を用いたはんだ部分の観察を行ったので、その詳細について報告する。



図 3 パワーサイクル試験装置

2. パワーサイクル試験装置を用いた強制劣化と熱抵抗

強制劣化に用いるパワーモジュール(Infineon 製 FS75R12KT4_B15)を図 4 に示す。パワーサイクル試験を用いて強制劣化を行う場合、指標として熱抵抗(単位:°C/W)が用いられる。熱抵抗とは、熱や温度の伝

わりにくさを示す値であり、パワー半導体を評価するための重要な特性の 1 つである。Si チップは熱抵抗が小さく、熱容量が大きい、これに対して接合箇所を使用しているはんだは、熱抵抗が大きく熱容量が小さい。断続的な通電により、加熱と冷却が繰り返されることで、熱抵抗が大きいはんだ部分では温度が上昇して応力が生じるため、剥離やせん断が発生しやすくなると考えられる。今回の実験では、この熱抵抗を劣化の度合いの指標として用いている。パワーサイクル試験装置を用いた強制劣化試験において、設定したサイクル間隔ごとに熱抵抗を測定し、都度モジュールの劣化の度合いを確認した。

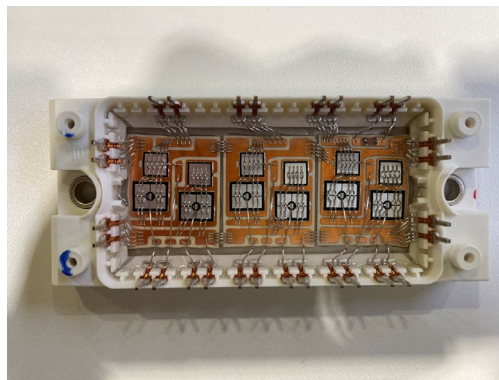


図 4 使用したパワーモジュール

3. 超音波顕微鏡を用いたはんだクラックの観察

可聴音を超える高い振動数のことを超音波という。超音波を用いた観察では、水などの液体を介して固体へ超音波を伝搬させるが、固体内部に材料特性が変わる部分があると、超音波の一部が反射する。このような反射波の有無や強弱を計測し、材料の境界部分や剥離、ポイド等を検出する。剥離やクラックなどでできる空洞部分は、周囲との密度差が大きく強い反射となるため、観察した画像では白色で表示される。今回は、意図的に劣化させたパワーモジュールのはんだクラック部分を非破壊・非接触で観察したいため、既述の特徴を持つ超音波顕微鏡 Finesat FS300III(図 5)を用いた。50MHz のプローブを用いてパワーモジュール表面から観察した結果を図 6 に示す。パワーモジュール表面には、封止剤としてゲルを使用している。このため、反射信号が正しく計測されず、明瞭な画像を取得できなかったのではないかと考えられる。次に 140MHz のプ

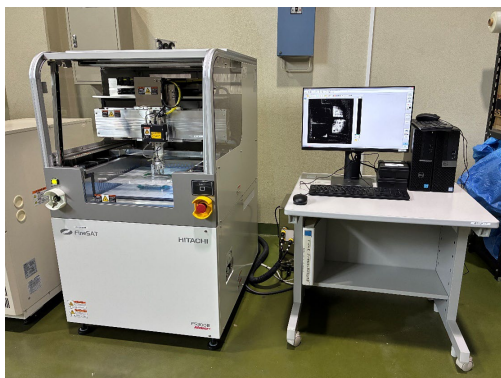


図 5 超音波顕微鏡

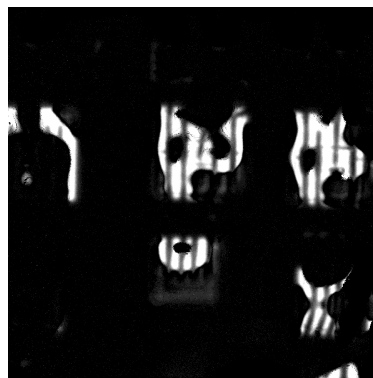


図 6 50MHz プローブを用いた観察結果

ローブを用いて観察しようとしたが、焦点距離が 5mm と短いため、測定時にプローブがパワーモジュールと干渉する可能性があったため、今回は観察を見送った。次に 25MHz のプローブを用いて観察した結果を図 7 に示す。(a)はパワーモジュール表面近く、(b)、(c)の順にパワーモジュール表面から鉛直方向に深い領域における観察結果を示す。図 7(b)、(c)の赤線で囲まれた領域が白くなっているのがわかる。この白色領域がはんだクラックが生じている領域ではないかと考えられる。超音波は物質内を伝わる透過力と分解能が周波数に対して相反する関係にある。周波数が低い超音波は、深くまで届くが解像度が低くなる。これに対して、周波数が高い超音波は、深くまで届かないが解像度が高いという特徴がある。このため、50MHz と比べて低い周波

数である 25MHz のプローブを用いると、超音波がより深くまで届き、観察することが可能であった。また、材料別の音速と時間より、超音波が伝わった距離が計算可能なため、パワーモジュールの構造(使用している材料や厚さ)が既知であれば、どの画像がパワーモジュールのどの部分の領域の画像なのかをおおよそ判定することが可能である。この方法を用いると、図 7(b)、(c)の深さの部分が、計算した Si チップ表面からはんだ領域までの深さと近い距離であったため、はんだを用いた接合部分ではないかと考えられる。

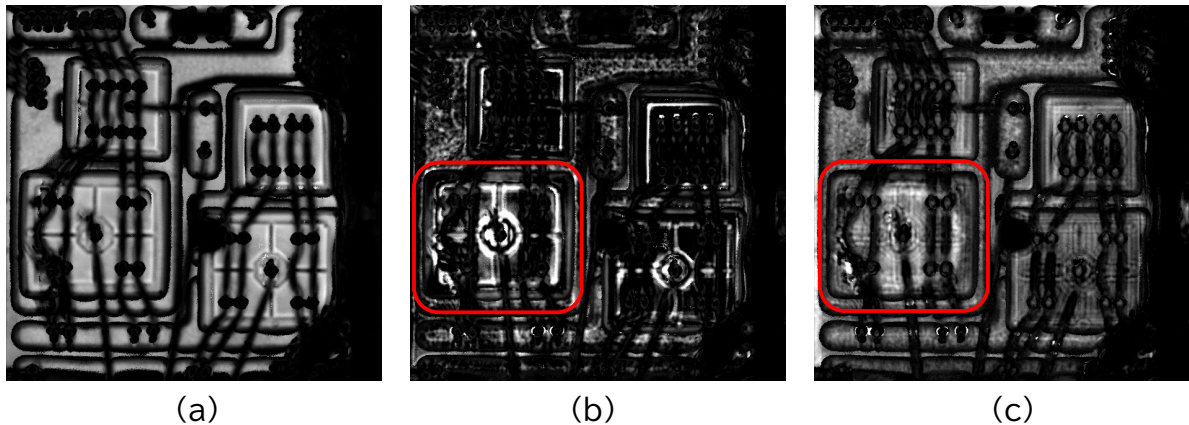


図 7 25MHz プローブを用いた観察結果

4.まとめ

パワーサイクル試験装置を用いて強制的にパワーモジュールを劣化させ、超音波顕微鏡で劣化したはんだ部分の観察が可能かを試みた。その結果、はんだを用いた接合部分と思われる領域を観察することができた。今後は、パワーサイクル試験装置を用いた強制劣化実験をさらに進めていき、図 7(b)、(c)の赤線領域がどのように変化していくかを確認すること、また、サンプル数を増やして、本観察結果の検証を行っていく予定である。さらに、はんだの劣化部分と考えられる白色領域の面積と、熱抵抗を用いて計算したモジュールの劣化度合の関係についても検討していきたいと考えている。

参考文献

[1] https://www.risho.co.jp/rishonews/now/rn214_05/risho_now.html

謝辞

本実験に関して、日頃から御指導いただいている九州大学応用力学研究所 齋藤 渉 教授、楠 茂 学術研究員、渡部 毅代登 学術研究員に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。