

光通信部品・半導体部品等の接合における複合膜応用に関する研究

- In/Sn及びAg/Snはんだ膜の接合強度 -

黒河内昭夫* 和田健太郎* 井上裕之* 小田嶋宏明** 柏木邦宏***

Research on Method of Bonding Composite Membrane Used for Optical Communication Parts and Semiconductor Parts, Etc

- A Bonding Strength of In/Sn and Ag/Sn Solder Film -

KUROKOUCHI Akio*, WADA Kentaro*,

INOUE Hiroyuki*, ODAJIMA Hiroaki**, KASHIWAGI Kunihiro***

抄録

PVD 法により作製した鉛フリーはんだ膜の接合力評価を行った。鉛フリーはんだ膜としてインジウム錫及び銀錫の膜を約 3 μm 成膜し、成膜面同士を向かい合わせ、加熱後、接合させた。被着材(基板)としてソーダガラス・アルミニウム合金を用い、同材・異種材接合を行った。評価は、接合したサンプルの圧縮せん断試験を行った。その結果以下のことが判明した。

インジウム錫膜は被着剤の表面に膜厚以上の凹凸があっても優れた接合性を示した。

銀錫膜は高強度な 20MPa 以上の圧縮せん断強度を示した。

電極として接触抵抗の非常に少ないことを示した。

キーワード：鉛フリーはんだ，イオンプレーティング，はんだ膜，接合，ろう接，電極

1 はじめに

鉛フリーはんだの研究開発は RoHS 指令 (EU) の影響を受け、各分野で行われている。現状の鉛フリーはんだは SnAgCu 系を多く用いられているが、PVD 法によって作製した鉛フリーはんだ膜の接合性を評価した研究は少ない。そこで、本研究は同法によって鉛フリーはんだを作製し、その接合力を評価した。はんだ膜は光通信部品のパッケージレンズ接合、半導体部品接合、ボンディングパッドなど利用範囲は大きい。ここでは、イン

ジウム錫(以下「InSn」)はんだと銀錫(以下「AgSn」)はんだを実験対象とした。InSn はんだ膜は熱伝導の良さから発熱体と冷却部材の接合に用いられるものの、インジウム(以下「In」)が非常に高価なために、使用箇所は限定される。AgSn はんだ膜は一般的な鉛フリーはんだとして用いられている。

2 実験方法

2.1 はんだ膜の作製

はんだ膜は高周波イオンプレーティング(以下「RFIP」)装置(株昭和真空製 SIP-650)を用いて作製した。膜は成分を積層して成膜した。積層膜は加熱により拡散を起こし合金化する¹⁾。InSn

* 材料技術部

** 東邦化研株式会社イオンプレーティング部

*** 東洋大学工学部物性工学研究室

は重量比 50:50 で共晶点を取り、117 の融点を示す。InSn 膜は 1 層目に In を 1.5 μm 、2 層目に錫(以下「Sn」)を 1.5 μm とした。同様に AgSn は重量比 3:97 で共晶点を取り、223 の融点を示す。AgSn 膜は 1 層目に Sn を 2.5 μm 、2 層目に Ag を 0.650 μm 作製した。被着材となる基板はアルミニウム合金 A5052(以下「アルミ」)とソーダガラス(以下「ガラス」)を用いた。

2.2 接合方法

耐熱スプリングによって押付荷重をかけられる治具を製作した¹⁾。その治具に、はんだ膜を成膜した被着材をセットし、治具ごと炉の中に投入後、加熱・接合させた。接合面積は 250mm²、押付圧力は 0.6 ~ 1.2MPa、保持時間 15 分、接合雰囲気温度 180 (InSn) 270 (AgSn)とした。

2.3 接合力評価法

接合したサンプルを圧縮せん断試験機(株島津製作所製 AG-100KNI)にかけ、破壊したときの荷重を記録した。測定条件はセルの最大荷重 5kN、荷重速度 0.5mm/min で行った。

3 結果及び考察

3.1 膜の表面形状

3.1.1 InSn膜

Sn は、はんだ材料の主要元素として欠かせない物質である。その Sn 膜の表面形状は前報で成膜条件によって凹凸の大きい形状、すなわち粗な膜形態をとることは述べた¹⁾。その大きな要因は酸化であり、膜成長に影響を与えたと考えた。この対策として以下のような方法を行った。

最終真空度を上げる。(平均自由行程を大きくする。)

成膜速度を上げる。

ガス放出の少ない環境にする。

これらを実施することで、酸化を抑制し、密な膜形態を取得できた。また、In 膜についても同様であることが判明した。

図 1 に示す左図は最終真空度 $3.2 \times 10^4\text{Pa}$ 、アルゴンを $3.7 \times 10^3\text{Pa}$ まで導入、成膜速度 100 /s

の条件で RFIP 法による In 単層膜の表面形状を SEM で観察したものである。また、同図に示す右図は成膜速度だけを 400 /s に変更したサンプルの表面形状である。前記対策のうち を実行した結果である。図 1 から明らかなように、密な膜が得られた。

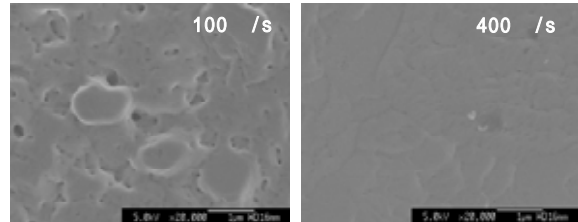


図 1 成膜速度を変えた In 単層膜 SEM

InSn 膜を作製したサンプルを図 2 に示す。図 2 の左図は RFIP 法で第 1 層目に Sn を 200 /s で第 2 層目に In を 400 /s で作製したものである。

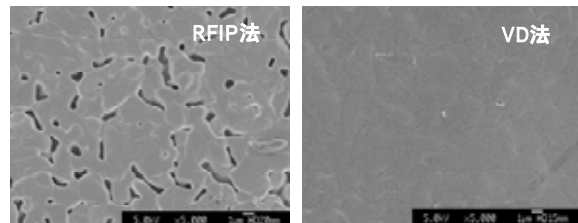


図 2 成膜法を変えた InSn 積層膜 SEM

前述したようにそれぞれの元素単層膜では密な膜となったが、積層すると粗な膜になった。その原因は RFIP 法にあるものと考えられる。RFIP 法は基板と膜の密着性に優れた成膜法であるものの、イオン化した In が既に成膜された Sn 膜に入射することによって、膜成長に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、イオンの影響が少ない真空蒸着(以下「VD」)法にて InSn 積層膜を作製した。そのサンプルの表面形状を図 2 の右図に示す。その結果、緻密な In/Sn 積層膜の作製することが可能となった。

3.1.2 AgSn膜

銀(以下「Ag」)膜は In や Sn と異なり、成膜条件によって表面形状に大きな差がないことが明らかとなったため、ここでは AgSn 膜についても VD 法にて成膜した。

図 3 は Sn 膜上に Ag 膜を積層させた SEM 像で、大きな結晶粒界(Sn)上に Ag 膜の特徴が観

察できる。

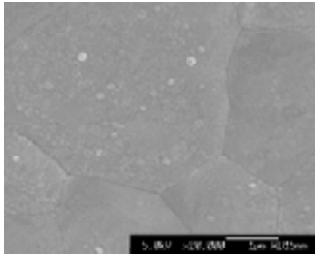


図3 AgSn積層膜SEM

3.2 接合強度

3.2.1 InSn膜

破断応力は 4.0 ~ 8.0MPa を示した。InSn 膜は後述する AgSn 膜よりもやや低い値をとるが、その接合性に特徴がある。膜は柔軟性をもっており、ガラス材での接合強度試験では材料破壊には至らなかった。図4は接合したサンプルをせん断圧縮試験を行った変位 - 荷重曲線である。

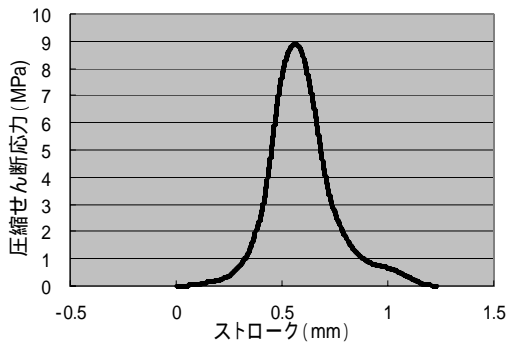


図4 InSn圧縮せん断試験結果

図4は破断荷重に至るまでの傾きがなだらかなり、最大荷重点を通過しても接合が保たれていたことを示している。InSn 膜が金属でありながら非常に柔らかい高分子接着剤のような挙動を示した。図5に被着材の異なるサンプルの圧縮せん断試験結果を示す。

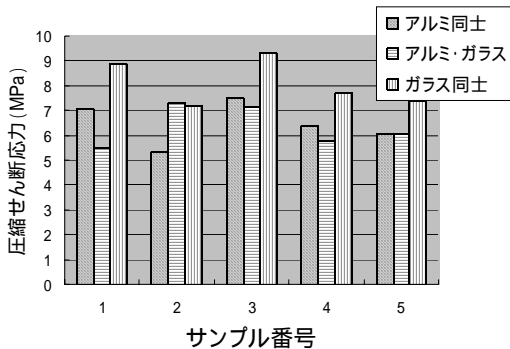


図5 InSn膜の被着材種別接合強度

その結果、同一被着材の接合強度とガラス - アルミのような熱膨張率が大きく異なる異種材料の接合強度に大きな差はなかった。したがって、InSn 膜が低融点はんだであり、柔軟であることから、熱膨張率の異なった異種材料接合に優れているものと考えられる。

3.2.2 AgSn膜

破断応力は 6.0 ~ 20.0MPa 以上を示した。被着材別接合強度を図6に示す。

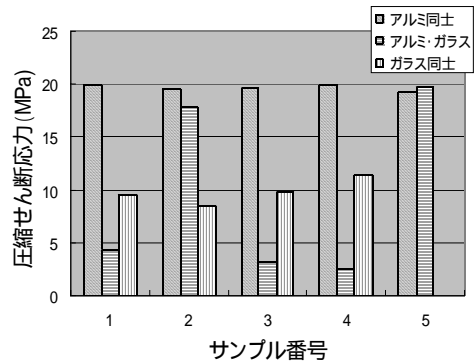


図6 AgSn膜の被着材種別接合強度

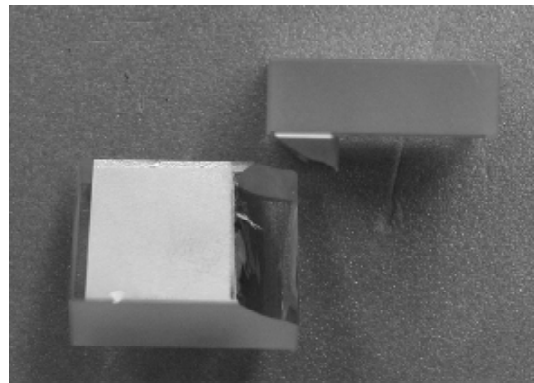


図7 AgSn膜接合によるガラス同士の破壊状況

アルミ同士の接合では 20MPa 付近を示しているが、試験機のロードセルが最大 5kN のため、ここではロードセルの最大荷重まで負荷したときの値を示した。ガラス同士では大半のサンプルで材料破壊に至った。これらの要因を InSn 膜と比較すると、AgSn 膜は InSn 膜よりも硬度が高い。それにより膜が溶け込み、固化する際の収縮に伴う内部圧縮応力が InSn 膜より大きいと考察した。図7に破壊形態を示すが、この形態から AgSn 膜がもつ内部圧縮応力の存在が想像できる。また、ガラス同士の接合において AgSn 膜は InSn 膜の接合強度と同程度であるが、材料破壊を発生させ

たことから理解できる。この内部圧縮応力によってアルミ同士の接合では強靱な接合に至ったことにもなる。ガラス・アルミニウム合金との接合においては接合温度が高いことから被着材の熱膨張率の違いによって接合部に割れをいくつか生じた。そのため接合強度のばらつきが大きい結果となった。これは接合方法の改善や接合部面積を縮小することで解決すると考える。

3.3 中間層

本研究における接合はろう接となるが、ここでは主にその界面に着目した。ろう材と基板の界面とろう材表面同士の界面である。後者は最表面の酸化膜の影響も考えられるが、溶け込みによって金属結合を起し非常に強い結合となる。しかしながら、ろう材とガラスのような無機物やアルミニウムのように最表面に不動皮膜(酸化物)が形成されている物との界面は金属結合よりも弱いファンデルワールス力が支配的である²⁾。本研究では圧縮せん断破壊させたサンプルの破断面を観察すると、ろう材と被着材(基板)の剥離が観察されたため、基板とはんだ膜の間に中間層を設けた。一般的に中間層はNi等の磁性材料を用いることが多い。しかし、その磁性が半導体材料等に影響を与える等の理由から、非磁性であるTiを採用した。

中間層Ti膜を設けないAgSn膜ガラス同士接合試験を行ったが、破断荷重は低く、材料破壊を発生せずに破断した。このことから、中間層Tiを設けたことにより接合強度が格段に向上した。

中間層Tiを設けることで新たな2つの界面

ろう材とTiの界面

Tiと基板界面

が考えられ、は金属間の濡れ性の良さと幾分かの拡散現象によっての界面より接合強度が高いと考えた。すなわち中間層Tiを設けた場合、Tiの付着強度が接合強度をほぼ決定する。そこで、Tiの付着強度と接合強度の関係を検討した。

図8は両サンプルともArボンバード工程を実施し、一方はTiをRFIP法で作製したサンプル、

もう一方はVD法で作製したサンプルの試験結果を示す。同図は前述したようにRFIP法はVD法よりも付着強度に優れているが、そのTiの付着強度差が接合強度の差につながっていることを示している。

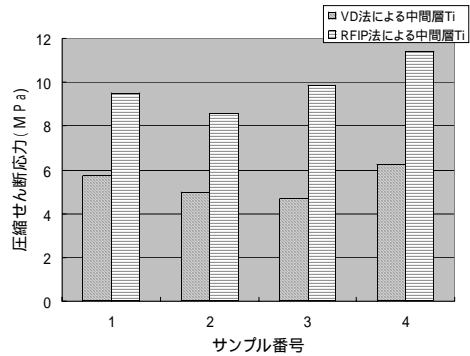


図8 中間層Tiの成膜方法による接合強度差

3.4 表面粗さによる因果関係

アルミ同士の接合においてアルミ表面の加工状態を研削と研磨の2つをパラメータにとって比較した。図9・図10に本研究に使用したアルミの表面プロファイル結果を示す。

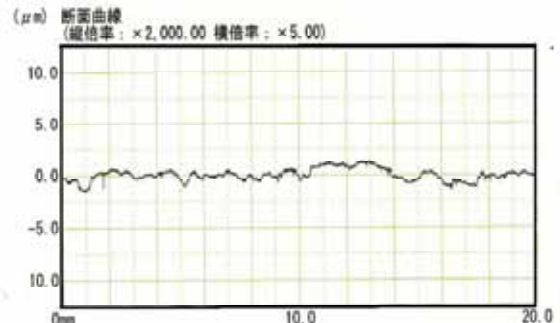


図9 研削したアルミ表面形状プロファイル

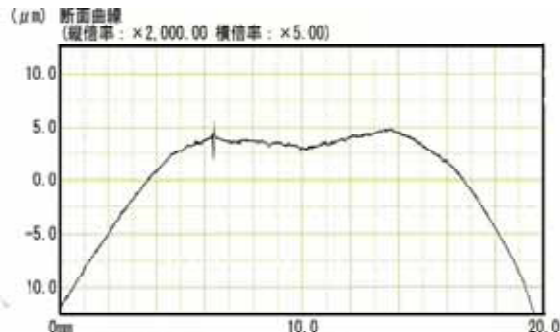


図10 研磨したアルミ表面形状プロファイル

図9・図10より研削したサンプルは微小な凹凸はあるが平滑な状態である。研磨したサンプルは微小な凹凸は少ないが大きなうねりを伴って

る。研磨した本来の目的は表面の微小な凹凸を少なくすることが目的であったが、素材のアルミが柔らかいためこのようなうねりを持つサンプルとなった。よって、ここでは表面形状差の比較を行った。図 11・図 12 に研磨面同士及び研削面同士の接合力データを AgSn 膜と InSn 膜で接合させた強度試験結果をそれぞれ示す。

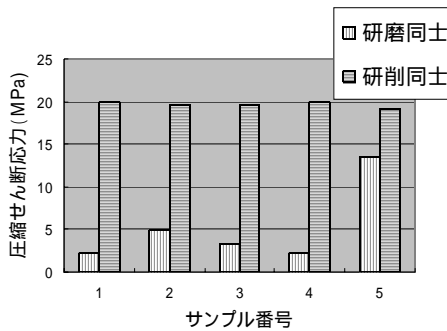


図11 表面状態差におけるAgSn膜での接合力

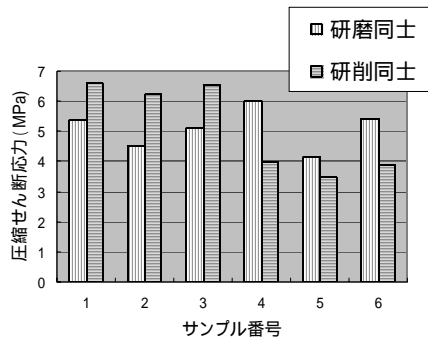


図12 表面形状差におけるInSn膜での接合力

図 11 の AgSn 膜の接合強度に注目すると研削面同士の接合が圧倒的に強度を出している。この理由は研削面の方が平行度に優れており、研削によって生じた凹部にろう材が入り込むアンカー効果によるものと考えられる。また、図 12 の InSn 膜による接合では AgSn 膜ほど接合強度は得られないが、基板表面状態による接合力の差が認められない。これは InSn 膜が非常に溶けやすく流動性があるので、基板のうねりによる接合面の隙間を埋める状態で、接合されたものと考えられる。

4 まとめ

PVD (RFIP・VD) 法によって作製したはんだ膜の接合の機械的強度を中心に報告した。その結果、InSn 膜及び AgSn 膜も十分に応用できる強度を有すること、それぞれに特徴を持つことが判明した。また、電気デバイスの電極としても、接触抵抗の少ないことが明らかとなった³⁾。今後の接合や電極としての応用や課題を以下に示す。

(1) 小型デバイス電極としての用途

はんだペーストを印刷できない事例に対し、本研究によるはんだ膜をマスク併用することで、はんだ膜の作製が可能。

(2) フラックスレスはんだ

本研究により作製したはんだは一切フラックスを用いていない。フラックスは微小部品等などに残渣等の問題をかかえている。本研究により作製したはんだ膜を適用することでこの問題を解決。

(3) Ti の付着力の解明

中間層 Ti を用いて、接合力の向上が図れたが、Ti の付着強度について理論的な解明。

(4) ガスバリア性

ガスバリア性についての解明。

謝辞

本研究を進めるに当たり、熱電素子および電極の御指導いただきました埼玉大学の長谷川靖洋先生、試料作製に FIB 装置操作を御指導していただいた(独)理化学研究所の小林知洋先生に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 黒河内昭夫 他：光通信部品・半導体部品等の接合における複合膜応用に関する研究，埼玉県産業技術総合センター研究報告，2，(2004) 128
- 2) 日本学術振興会薄膜第 131 委員会：薄膜ハンドブック，オーム社，(1986) 327
- 3) 森田寛之，黒河内昭夫，和田健太郎：「熱電素子における接合電極の形成方法及び多孔体熱電素子」，特願 2005-3232