銀/ガラスダイボンド用ペーストにおける接着機構

—金またはクロム/金の裏面処理の場合—

Adhesion Mechanisms in Silver/Glass Die Attachment with Silicon Die

—Gold and Chromium/Gold Backed Die—

松田 邦介*

1. はじめに

チップ&ワイヤー法で行われるダイ接合には、これまで種々の方法・材料が用いられてきたが、ダイ寸法の大規模化によってそれぞれの接合についてさまざまな問題点が指摘されるようになってきた。すなわち、ヒートサイクルでの密着力の劣化、大型ダイにおけるボイドの発生とそれに伴うヒートスポットの発生、スクラブのためのスペース不足等がそれである。

このような欠陥を排除するため、ハーメチックシールに使用できるダイ接合材料として、米国ジョンソン・マッセイ社は、銀とガラスのマトリックスによる接合材料を開発し、1982年のISHMにAuSubとして初めて発表した。

現在、ハーメチックシールに適応できるダイ接合材料では、共晶合金が特に国内では主流であるが、数年前から米国をはじめとする海外においては金系共晶合金法に換え得るものとして最近軍需用としても一般的にAuSubが使用されるようになってきており、現在ではほとんどの半導体メーカーで使用されるまでになってきた。

また、近年このAuSubの密着のメカニズムについては、種々の研究成果により明らかにされてきた。本稿では、AuSubの密着の機構についてまとめた。

2. AuSub(銀/ガラスペースト)

AuSubは、フレーク状の銀粉末とホウ酸鉛系のガラスで成り立っており、焼成工程で完全に消失するベヒクル中に分散させたものである。

Fig. 1にAuSubのDTAによる重量変化を示した。Fig. 1より分かる通り、ダイ接合の後にはまったく無機質のみとなり、シール後のアウトガスが金/シリコンなみに抑えられる。

AuSubに使用されるガラスは、フリット状にしてペースト中に混練されており、このガラスは低融点の準安定相をもつように改良されたホウ酸鉛系のガラスである。Fig. 2にAuSubに使用されているガラスフリットの熱分析の結果を、Fig. 3に高温X線回折の結果を載せた。熱

Fig. 1 Thermogram of "AuSub" paste

*Kunisuke Matsuda

田中マッセイ/Tanaka Matthey K.K.

分析は、20～30 g の試料を白金紺禍にとり、10℃／分の昇温速度で室温から800℃まで、アルミナを標準試料として行われた。さらに、軟化点の確認のために高温顕微鏡にて観察した。これらの結果から、AuSubのガラスは、317℃と337℃の間において1%の重量減少を伴う吸熱反応をもつ。また、X線回折から、室温および280℃である種の結晶相が存在することが分かった。ただし、後の追加実験にて、この重量減少は、吸着水によるものと分かった。一方、典型的なホウ酸鉛系のガラスでは、このような吸熱反応あるいは結晶相は見当たらない。さらに、AuSubのガラスは、444℃において発熱反応を示し、再結晶化する。この結晶は451℃では完全となり、493℃にて再融溶解していることが分かった。

高温顕微鏡の再生画像の観察では、このガラスは330℃から340℃においてほとんど急速に溶融し、金の表面をよく濡らした。この金に対するガラスの濡れは、390℃まで続き、より完全に濡れるようになる。さらに、444℃で再結晶のため堅くなり、493℃の融点まで続く。一方、典型的なホウ酸鉛系ガラスでは、ガラス転移点（約360℃）でようやく流れだし、結晶化開始温度（約450℃）では堅くなってしまいAuSubのような濡れは生じなかった。

AuSubの焼成工程で起こることは、ペーストの接触面が1つではなく2つであることを除けばほとんどガラスフリットを含む厚膜導体と同様であると考えられる。両者のペーストに含まれるガラスフリットの役割は、金属膜と基板との間の接合を与えるものであり、最も能率的な焼成条件のもとで、これらのガラスフリットは熔融状態になった後、その表面張力によりもたらされるエネルギーによって界面に移動させられ、濡れた後固まって結合を強める。その界面で金属-ガラス合成物として断続的なネットワークを維持する一方、酸素を介して強固な化学結合を形成する。

したがって、AuSubのような銀／ガラスペーストをダイ接合に使用したときのダイの密着強度は、焼成時の条件により変動を受けることがある。つまり、ガラスフリットの軟化点が非常に低いか、または粘度変化が急激であるような場合焼成しすぎ（過焼成）となりガラスのブリードアウト（にじみ出し）が起ることがあり、逆に軟化点が非常に高かったり、あるいは温度による粘度変化が非常に緩やかな場合には、ガラスフリットは金属粒子が焼結を始めるまでに基板との密着を確保できないことがある。

さらに、AuSubに用いられているガラスフリットの低融点の準安定層は、焼成工程の初期の段階であたかもフラックスの役目をしており、溶融し移動する際にバルク相のガラスを、その表面張力によってガラスとの濡れ性

Fig. 2 Thermogram of "AuSub" glass

Fig. 3 Hot stage X-ray diffraction of "AuSub" glass

のよいダイあるいは基板界面へ移動させることができる。また、ガラスの結晶化は、パッケージのシール工程における熱処理で、ガラスがブリードアウトを引き起こすこ

とを緩和する働きがある。

3. 接 着 機 構

ダイの密着強度には、十分なガラスが必要であり、パッケージ材料とAuSubとの密着は、通常の厚膜材料の基板との密着と同じであることが想像される。一方、ダイとAuSubとの間の接着強度は、例えば金でメタライズされている場合等で時々ダイとの界面剥がれを生じることがあったことから、シリコンと金、あるいは金とAuSubとの界面のいずれかに弱いところがあることが推定される。シリコンとダイとAuSubとの接着機構については、単純な物理的結合から複雑な化学結合までさまざまな過程が可能である。しかしながら、これまで発表されている文献によれば、シリコン界面での機構はホウ酸鉛とシリコンとの相互作用であるというのが最も可能性が高いといわれている。

これらの仮説を検証するために、325mil角の金裏面処理およびクロム／金裏面処理されたダイを用い、通常のAuSubの熱処理工程を施して接合を行った。さらに、これらのサンプルは、断面のSEMあるいはEPMAによる観察のために切断され、研磨された。

Fig. 4は、接合部の断面SEMである。ここでは、ダイとの界面において、AuSubはほとんどのガラスをシリコンとの界面に集中させ、よく焼結され緻密になっている銀との間にいわゆる「指」状の深い食い込みを形成し、優れた機械的結合をもっていることが分かる。さらにFig. 5に示したと同じような50 μ m角の視野でEPMA分析を行った。ここでは、コンベックス社のMBXを用い、15keVで、視野の全体にわたって1 μ m角の分解能でシリコン、金、酸素、鉛および銀について分析しデータを収集した。ほう素についても同様の分析を行ったが、信号レベルが非常に低かったのでとりやめた。X線での分析は、非常に強力な分析法であるが、1 μ mという小さなスポットサイズでは試料表面下でのX線の分散によって現実性の乏しい結果になることがある。このために、ここでは最大強度の20%以上得られた点のみをデータとして上げ、コンピュータで等高線として表示させた。

Fig. 5に試料での金の分析を、その強度を高さとして示した。さらにこのような分布データを立体図形としてFig. 6からFig. 10に示した。さらに、精度を上げるためにこれらのデータは、各列ごとの平均値を求め各元素の強度を重ね合わせることで、位置対X線強度のグラフに直すことができる。Fig. 11からFig. 14にこれらの結果を示した。

Fig. 4 Scanning electron micrograph of die back/AuSub interface

Fig. 5 EPMA contour map distribution of in specimen

3.1 金裏面処理されたダイ

これらの結果より、金で裏面処理されたダイでは、金のごく薄い層を通してシリコンが拡散しているのが観察される。また、拡散したシリコンは、金との合金層を形成し、酸素とホウ酸鉛ガラスのシステムともオーバーラップしていることから、これら合金層のシリコンは酸化され、ガラスとの強固なガラス結合を形成しているものと考えられる。さらに、銀とガラスシステムは、バルクにおいて銀が緻密に焼結しほとんどが銀で占められているのに対し、界面近くにおいてはガラスとの間に指が絡んだような複雑な形状を示し、機械的な接合をしていると考えられる。

このようなシリコンの酸化に寄与する酸素源は、熱力学的解析より大気中の酸素および水蒸気であろうと考えられる。さらに、シリコンの分布がAuSub側によく延びていることから、シリコンとガラスとの界面も広く、こ

Fig. 6 EPMA isometric projection—distribution of gold in spection

Fig. 7 EPMA isometric projection—distribution of silicon in specimen

← Fig. 8 EPMA isometric projection—distribution of lead in specimen

Fig. 9 EPMA isometric projection—distribution of oxygen in specimen

← Fig. 10 EPMA isometric projection—distribution of silver in specimen

Fig. 11 Elemental distribution—centre of gold backed die

Fig. 12 Elemental distribution—edge of gold backed die

Fig. 13 Elemental distribution—centre of chromium/gold backed die

Fig. 14 Elemental distribution—edge of chromium/gold backed die

のために一部のシリコンは酸化鉛を還元し酸化される可能性も考えられる。

3.2 クロム／金で裏面処理されたダイ

この系においては、クロムがシリコンのバリエーションとして作用し、シリコンが拡散して金との合金を形成する妨げとなっている。さらに、このために酸素および鉛とシリコンとのオーバーラップはほとんど見られず、通常の焼成条件では十分な強度は得られないであろう。ダイの裏面状態による密着力の変化をTab.1に示した。この結果は、Tab.1に示した結果とよく一致している。また、これらの結果により、クロム／金で裏面処理されているダイでは、ダイ接合の前に熱処理するか、または焼成時の温度を上げるかの処理によって十分な金／シリコン

の合金層を前もって形成する必要があることが明らかとなった。

4. まとめ

AuSubとシリコンダイとの間の接着は、いくつかの段階を経て達成されており、温度上昇に伴ってまずAuSub中のホウ酸鉛ガラスが溶融し、表面張力によりダイおよび基板側に引き寄せられる。その後、銀の焼結が進行し、同時に大気中の酸素、水蒸気およびガラス中の酸化鉛より酸素の供給を受けて、シリコンの酸化が起こされる。酸化シリコンはホウ酸鉛とガラス結合を形成し、一方、ホウ酸鉛ガラスは、銀の焼結膜に対し指が絡んだような

Tab.1 Die Adhesion Variation with Differing Die Backside Metallisation

Backside metallisation	Adhesion (KPSI)
Chromium/Gold	0.6
No metallisation	4.9
Gold	4.0
Chromium/Gold reacted	5.2

入り組んだ状態で機械的に結合されている。

金で裏面処理されたダイでは、シリコンが酸化する以前に金の膜を通して合金層を形成しながら拡散し、表面で同様に酸化シリコンを形成する。

さらに、クロム／金で裏面処理されたダイでは、クロムがシリコンの拡散を阻止しており、酸化シリコンの形

成が遅れるため、そのままでは密着強度が弱くなる場合がある。前もって熱処理を行うことで十分なシリコンの拡散を得ることが可能であり、他の場合と同様の強い強度を確保できる。

参 考 文 献

- 1) R.L.Dietz and L.Winder, "An Innovation in Materials for Attaching Silicon Device", Proceedings ISHM, p.480, (1983)
- 2) N. M.Davey and F. W. Wiese, "Adhesion Mechanisms in Silver/Glass Die Attachment of Gold Backed", Proceedings ISHM, p.665 (1986)
- 3) F.W.Wiese and T.Herrington, "Adhesion Mechanisms and Process Issues for JMI Silber/Glass Die Attachment Paste", Internepcon Singapore (1986)
- 4) F.W.Wiese and N.M.Davey, "Silver/Glass Die Attachment-Adhesion Mechanisms with Gold and Chromium/Gold Backed Die", Hybrid Circuits, No.13, May, (1987)