

マイクロ鍛接によるデバイスの封止構造の形成に関する研究

製品・機能評価課 升方康智、寺澤孝志

機能素材加工課 山岸英樹、酒井康祐

1. 緒言

Society 5.0 を見据え、電子デバイスの需要の増大が見込まれている。電子デバイスの製造は、ウエハに回路を形成する前工程と、デバイスとして使用できる状態にする後工程(実装工程)に大別されるが、前工程における微細化は限界に達しつつあることや、実装工程にかかるコストなどが課題となっていることなどから、実装工程の技術開発が活発化している。中でも、実装工程に用いる接合技術については、デバイスの封止やチップ実装など多くの工程で使用され、日々高度化するプロセスへの対応が求められる。また、先端分野においては、チップの積層化など、接合技術の用途は近年飛躍的に増大している。そこで、我々は、実装工程における、封止などの工程で使用できる新たな接合技術の確立を目指した。実装工程における接合技術には、高いスループット、高強度、低い材料コスト、微細領域の接合、低温プロセスであることなどが求められる。既存の接合プロセスには、接着剤、ハンダ、陽極接合など数多くの接合技術が存在するが、これらの要件を満たすものは存在しない。今回我々は、バルク金属どうしの加圧により接合界面に大変形を付与し、生成する新生面により加熱による原子拡散を促進して金属の高強度接合を短時間、低コストで実現する低温鍛接法により、微細領域の接合を実現するため、低温鍛接法による固相接合技術を微細加工可能な薄膜に適用することを目指した。

2. 薄膜における低温鍛接

低温鍛接法は、接合面に変形を付与することが必要であるが、薄膜どうしを加圧しても十分な変形を付与することはできない。そこで、我々は Al スパッタ成膜時に一定条件下で膜表面に生成するサブミクロンサイズの粒子を利用する手法を考案した。Fig. 1(a)に、RF スパッタで成膜した Al 膜表面の SEM 像を示す(膜厚約 350nm)。膜面にサブミクロンサイズの Al 粒子が生成していることが分かる。この膜面を、平板で 25MPa/cm² の圧力を印可すると、Al 粒子は加圧により平坦化した(Fig. 2(b))。この時、Al 粒子の加圧変形により酸化層等は薄膜化しており、加熱により原子拡散を促進することができると考えられ、接合部材に Al サブミクロン粒子を有する膜を形成することで、Al 膜どうしの原子拡散により接合することができると考えられる。

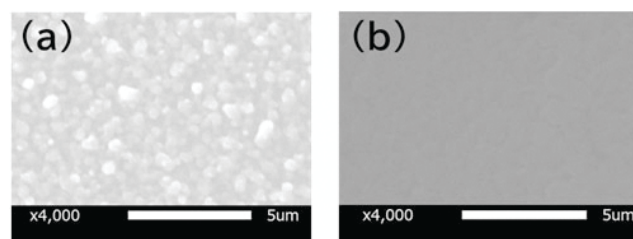


Fig. 1 (a) Al sputtering film. (b) Al sputtering film after pressing

3. 実験手法

Al 膜の成膜はスパッタ装置(SH-250-T4 ULVAC)により行った。成膜手順を Fig. 2 に示す。基板(SUS430)を逆スパッタでクリーニング(100W 15min)し、密着層として Ti を成膜した。Al の成膜は、ヒーターで 110℃ に加熱して行った。Al 膜厚は約 350nm であった。接合させる部材にも同様に成膜を行った。

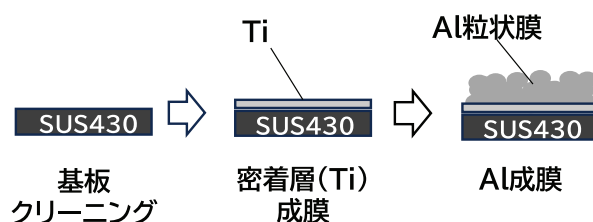


Fig. 2 Schematic image of the film deposition process

接合工程は、表面にサブミクロン粒子を有する Al 膜を成膜した部材を対向させ、接合面積が 1cm² となるように配置し、加熱しながら加圧した。加熱温度は 100℃～400℃、加圧力は 5～35MPa/cm² の間で変化させた。

接合した部材について、万能試験機(AGX-300kNV 島津製作所)により接合部材の引張せん断強度を測定した(Fig. 3)。

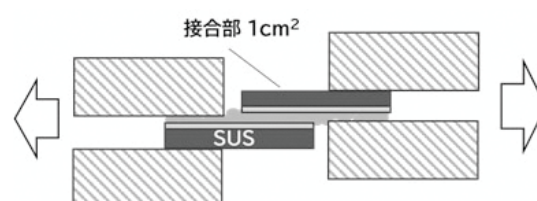


Fig. 3 Schematic image of the tensile strength test

4. 実験結果

接合強度の加圧力、温度依存性を、Fig. 4 に示す。温度、加圧力が大きくなるほど接合強度が強くなる傾向が確認された。加圧力が大きいほど変形が多くなり、温度が高いほど原子拡散が促進されるためと考えられる。また、150～200℃の温度領域においても、2000[N]を超える引張耐荷重が確認された。なお、100℃における 10MPa/cm² 以下の圧力および 150℃における 5MPa/cm² の圧力では接合できなかった。また、粒子状でない鏡面の Al 膜どうしを加熱・加圧した場合も接合されなかったことから、Al 粒子の変形により、酸化層等が薄膜化し熱により原子拡散を促進されたことで接合したと考えられる。

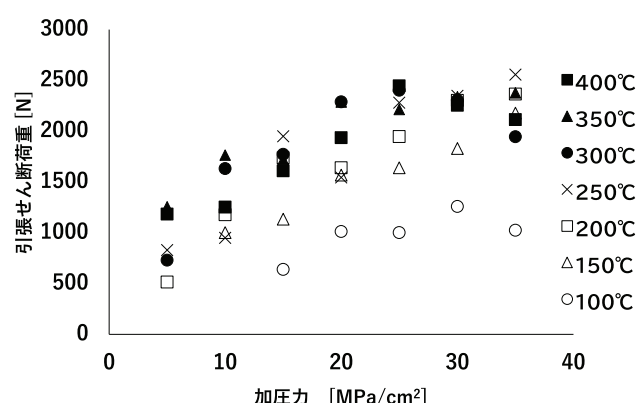


Fig. 4 Pressure dependence of tensile breaking load at various temperatures

また、破断面を SEM 観察したところ、延性破壊の特徴的な破面であるディンプルが確認された。Al 膜どうしは加熱・加圧により金属的な結合をしていたことが示唆される(Fig. 5)。

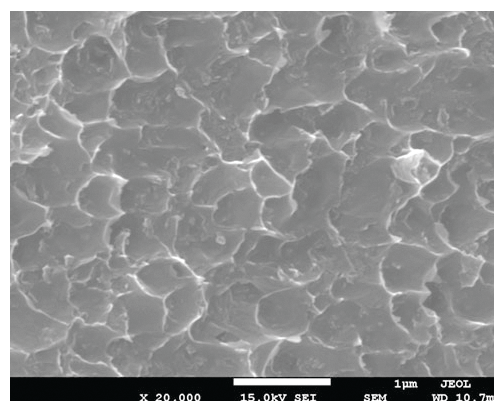


Fig. 5 SEM image of the fracture surface

5. 結言

今回、我々は、素子封止など、実装プロセスにおいて必要とされる、微細領域の接合に適した薄膜における高速固相接合の実現に向け、Al 粒子状膜の加熱・加圧による手法を考案し、接合を実証した。Au などの貴金属を用いず、汎用的なスパッタ装置で実現できることなど低コストなプロセスであることや、200℃以下の比較的低温領域において接合可能であるなどのメリットがある。ステンレスに限らず、密着層を介して Al 膜が密着する材料であれば、Al をバインダとして異種金属や、金属-セラミックス、Si などの接合にも応用できる可能性がある。

今後は、薄膜の状態が接合状態に与える影響について分析を行うとともに、実際に微細加工を施した Al 膜における接合を実証し、素子封止などの実装プロセスにおける接合技術への応用を目指す。

参考文献

- 1) H. Yamagishi: *Merall. Mater. Trans. A*, **52** (2021) 741-752

キーワード：接合、実装プロセス、薄膜

Research on the Formation of Encapsulation Structure of Devices by Micro Forge Welding

Product and Function Evaluating Section; Yasutomo MASUGATA, Takashi TERASAWA

Functional Material Processing Section; Hideki YAMAGISHI and Kosuke SAKAI

The forge welding, which achieves high-strength metal joining by imparting deformation through pressure and promoting atomic diffusion through heating, has advantages such as high-speed and high-strength joining. We aimed to apply this technology to micro-area bonding, which is necessary for bonding in mounting processes such as MEMS encapsulation. We have devised a method of bonding Al films with a particulate surface by heating and pressurizing them. This method has the advantages of not using precious metals such as Au and being able to bond at relatively low temperatures of 200℃ or lower.