

論文の内容の要旨

論文題目 平滑な金薄膜の形成と大気中低温接合への応用に関する研究

氏 名 山本 道貴

センサ・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスをはじめとしたエレクトロニクスデバイスの小型化・高機能化のため異種材料の低温集積化技術が必要であり、低温・大気中での粗い表面を持つ素子のチップ接合技術、ならびにウェハ接合技術が求められている。本論文は、「平滑な金薄膜の形成と大気中低温接合への応用に関する研究」と題し、Au-Au 表面活性化接合によるチップ接合、ならびにウェハ接合について論じており、全 6 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景、目的と論文の構成が述べられている。エレクトロニクスデバイスの例として光マイクロデバイスを取り上げ、ウェハレベル作製プロセスの確立の必要性、表面活性化接合の利点について説明し、さらには耐酸化性に優れた Au を用いた Au-Au 表面活性化接合であれば、大気中での低温接合が可能であることに言及した。なおここでいう大気中とは、エレクトロニクスデバイスの作製が行われている一般的なクリーンルーム程度の環境のことを想定しており、低温とは室温～150 °C 程度までの温度のことを指している。また Au-Au 表面活性化接合の先行研究について調査を行い、Au-Au 表面活性化接合を光マイクロデバイスのウェハレベル作製プロセスに適用するためのウェハ接合・チップ接合の課題を整理した。ウェハ接合においては、Au の膜厚・表面粗さ、ならびにプラズマ活性化に用いるプラズマの種類の影響を明らかにする必要がある。またチップ接合においては、真空排気プロセスのいらぬ表面活性化手法、さらには RMS (Root Mean Square) 表面粗さ数 100 nm オーダーの粗い Au 表面の接合が求められている。そこで本研究では上記課題を解決し、Au-Au 表面活性化接合によるウェハスケールでの大気中常温封止接合、ならびに大気中プロセスによる粗い表面へのチップの低温接合を実現

することを目的とする。

第2章では、ウェハ接合における Au の膜厚・表面粗さの影響の調査、及び封止への応用を行った。まず平滑な基板上に成膜した Au 薄膜を中間層とした接合における Au の膜厚・平滑性の影響を調査し、Au の膜厚が 100 nm 以下であれば常温・大気中にてウェハ同士を接触させるだけで接合が伝播することを示した。一方、Au の膜厚が 100 nm の場合にはリークパスが存在しており封止できないのに対し、膜厚が 50 nm 以下の Au 薄膜を用いることで封止も可能であることを示した。これは、Au が薄い領域では表面粗さが小さいことに加えて、Au の粒径が小さく拡散しやすいためと考えられる。また膜厚 15 nm の Au 薄膜を用いて封止したサンプルについて封止性能の評価を行い、 $1.3 \times 10^{-14} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 以下という MIL-STD-883 の基準値よりも 4 桁低い封止性能が得られることを実証した。

第3章では、膜厚 15 nm の薄く平滑な Au 薄膜を用いたウェハスケール常温接合において、物理的な作用を主とする Ar 低真空プラズマと、化学的な作用を主とする O₂ 低真空プラズマの比較を行った。O₂ 低真空プラズマを照射した場合、Au 表面に酸化金(Au₂O₃)が形成されシート抵抗が上昇し、かつ常温では接合できなかった。一方、Ar 低真空プラズマを照射した場合はシート抵抗を変化させることなく、大気中・常温においてブレード試験で基板が破壊するほど強固な接合が得られることを示した。このことより、ウェハスケール常温接合においては Ar プラズマの方が適していると考えられる。

第4章では、表面活性化に大気圧プラズマを適用することで、表面活性化から接合まで全て大気中で行えるプロセスによる光学素子の低温接合を検討した。各種大気圧プラズマを比較し、表面活性化に Ar+H₂ 大気圧プラズマを用いることで、従来から用いられてきた Ar 低真空プラズマと同等の強固な接合が行えることを示した。また、Ar+H₂ 大気圧プラズマを用いて、光学素子(フォトダイオードチップ・半導体レーザチップ)の低温接合に成功した。

第5章では、より粗い Au 表面を低温接合するため、平滑な表面を持つテンプレート上に成膜した Au 薄膜を複数回転写する、新たな Au 表面の平滑化手法を提案した。同手法により、RMS 表面粗さ 200 nm 程度という、従来接合に用いられてきた Au 表面よりも RMS 表面粗さが 1 桁~2 桁大きい非常に粗い Au 表面を、RMS 表面粗さ 10 nm 程度に低減でき、常温での接合が可能になることを実証した。

第6章は総括であり、各章の主な成果をまとめ、本論文の結論について述べている。

以上、本論文では平滑な表面を有する Au 薄膜を用いた Au-Au 表面活性化接合に着目し、

各種プラズマ，表面粗さの接合への影響を調べると共に，RMS表面粗さ数100 nmの粗いAu表面の平滑化を行うことで，チップ接合，及びウェハスケールでの封止接合を実証した．本研究成果は異種材料の集積化に広く有用であり，センサ・MEMSデバイスをはじめとしたエレクトロニクスデバイスの小型化・高機能化に貢献するものと期待される．