

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 王 晨曦

本論文の目的は、モアレ縞による高精度位置合わせマーク計測およびフッ素添加プラズマ活性化手法による低温接合を用いることにより、シリコンウエハの高精度位置決め接合を可能にする手法を開発したものである。

ウエハ接合は、半導体の3次元実装や高密度実装のため、近い将来、100nmのオーダの位置決め精度での高精度接合が必要とされている。しかし、現状では、通常のアライメントマークのIRカメラでの読み取りでは、0.5~1 μm の位置合わせが限界とされている。

本論文では、これに対し、従来ウエハ接合のアライメントには使われていなかったモアレパターンを利用して高精度の位置決めを実現することを提案している。接合するウエハの対向する場所に、ピッチのわずかに異なる縞状のパターンを形成し、これが接合時に重なるようにすると、いわゆるモアレ縞が観察される。ウエハの位置がわずかにずれると、このモアレ縞が数10~100倍の倍率で移動する。これにより、分解能の低いIRカメラによる透過像であっても、高精度の位置合わせが可能になる。モアレ縞による位置決めについては、これまで、2つのモアレパターンを組み合わせ、1次元の位置決めを利用した例が知られている。しかし、これの従来のモアレパターンをそのまま2次元に利用しても、1) 対応するウエハの位置に対称なパターンを形成する必要があり、それぞれのウエハに別のモアレパターン形成用のマスクが必要である、また、2) 高精度位置決めの前に粗位置決めを行うため、従来の位置決めマークを併用する必要があり、その分、位置決めマークが占める面積が大きくなる、という欠点が予想される。

本研究の独創的な点は、これに対し、正方形を8分割した領域にピッチの異なる縞状パターンを交互に配置した中心対称パターンをモアレパターンとして使うことを提案した点にある。これにより、一つのマークで粗位置決めと高精度位置決めの両方を行うことが可能となり、かつ、同じマークを接合するウエハの対応する位置に形成すればいいので、パターン形成用のマスクについても1枚で済むことになる。さらに、この正方形の角を落とした菱形マークで同じ位置決めが可能なることから、マークが占める面積を最小限にすることができる。

審査の過程では、この提案された手法について、精度の限界がどの程度になるのかが議論となった。これについて、本論文では、モアレパターンを利用した位置決め精度

の限界について詳細な検討が行われ、最終的に、この手法により、10 nmオーダの位置決めが可能であることが示された。

また、高精度のウエハ接合の必要条件としての低温接合についても、本研究では、新しい手法が提案された。すなわち、従来の酸素プラズマ活性化接合に対し、フッ素添加ガスを用いたプラズマ活性化が、接合強度の向上ならびに、アニーリング時のボイド発生を低減に劇的な効果があることを示したものである。本研究では、フッ素添加ガスの種類、流量、プラズマ励起源、電力、照射時間、接合雰囲気、加圧条件、保持時間などのプロセス条件を最適化し、従来のプラズマ処理では $0.6\text{J}/\text{m}^2$ 程度であった接合強度をシリコンのバルク強度に近い $2.5\text{J}/\text{m}^2$ に近い接合強度を実現した。また、プラズマ処理面の濡れ性の検討やXPSによる表面電子状態の検討、FTIRによる接合界面の観察、ボイド発生条件の検討を通して、フッ素添加プラズマによる接合強度の上昇のメカニズムを提案、具体的に検証した。

審査の過程では、この低温接合の新プロセスの提案と前述のモアレ縞を利用した高精度位置決めとの関係について、その組み合わせの必然性が明確でないとの指摘があった。これに対し、最終論文では、この2つの新しい提案を組み合わせ、高精度低温ウエハ接合の新しい接合装置とプロセスが提案された。すなわち、2つのex-situ手法と1つのin-situ手法であり、それぞれのプロセスについて、容積、スループット、コストなどの詳細検討比較が行われ、提案手法の従来手法に対する優位性が極めて明快に示されることになった。

以上の結果から、本研究では、従来の手法では困難であった高精度のウエハ接合を高精度の位置決め手法の提案と、低温接合の新しいプロセスの提案、さらにその組み合わせにより可能であることを明確に示したものであり、その独創性が高く評価された。以上のように、本研究で得られた工学的知見は極めて大きく、また、工学の発展に寄与するところは多大である。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。