

審査の結果の要旨

氏名 尹 成 圓

本論文は「熱・光併用インプリントとデュアルダマシン銅配線製造への応用」と題し、マイクロスケールデュアルダマシン銅配線製造において大幅な工程短縮と経済化を図るため、化学増幅系光硬化性樹脂の架橋反応メカニズムの活用に着目し、熱インプリントと光インプリントを組み合わせた新しいインプリントプロセスを提案、実際のデュアルダマシンに相当する銅配線工程に適用してその有効性を実証したものである。

第1章では、半導体用製造において大型・複雑・高価格化を続けるパターン形成技術に対して簡素で経済化が可能なパターン形成手法を提供できるインプリント技術について、その技術開発の背景と本技術の適用による配線工程の大幅な工程削減を目指すという本研究の目的について述べている。

第2章では、熱インプリントの基礎理論として樹脂の動的粘弾性特性について論じている。熱インプリントによるパターン成形条件の明確化をはかるため、温度上昇に伴う樹脂の変形挙動と動的粘弾性の変化、またそれらの熱インプリント形成との相関関係について考察を行い、非結晶性樹脂あるいはそれに準じる成形特性を持つ結晶性樹脂、並びに高分子量・結晶性樹脂の熱インプリント成形条件を明らかにしている。また、耐熱性樹脂の低温インプリントプロセス開発のために、耐熱性樹脂の架橋前の高い成形性について考察している。

第3章では、デュアルダマシン配線構造成形用として2段Ni電鍍モールドを採用することとし、その作製技術について検討している。まず、母型であるシリコンマスターの作製にはエッチング現象とデポジション現象を並列作用させるボッシュプロセスによる垂直壁を有する高品質マスターモールドのエッチング技術を確立している。次に、シリコントレンチエッチング用マスクをビアエッチングに補助マスクとして再利用するセルフアライメント法を提案し、ビア部とトレンチ部の超高精度位置合わせを実現している。さらに、インプリント時の樹脂の充填挙動の考察から、ダミーパターン付加によるモールド変形の防止対策を提案している。

第4章では、本論文の主課題である光硬化性樹脂を用いた熱・光併用インプ

プリント技術について詳述している。本研究で提案するインプリントプロセスでは、耐熱性に優れたエポキシ系化学増幅型ネガレジストSU-8を液状とドライフィルムを積層する方式で成膜し、まず適正ドーズのUV露光（UV照射）により架橋反応を励起する。次にこの適度な熱可塑性を持った高成形性樹脂膜に前章で作製したモールドを用いて熱インプリントプロセスを施す。本プロセスは光照射が不要な熱反応なので非透明なNiモールドが使用でき（高価な石英モールドが不要）、成形反応は90℃付近の低温で促進されるという優れた特徴を有している。なお、本章ではこのインプリントプロセスに付随する残膜の制御、銅メッキ、CMPなど具体的なプロセスの課題とその解決法についても触れている。

第5章では、前章で提案したSU-8を用いた熱・光併用インプリント技術をデュアルダマシン銅配線工程に適用してその有効性を検証している。具体的にはフォトリソグラフとドライエッチングという一般的な半導体製造プロセスをベースとするCu/SiO₂/Si配線プロセスと、本研究提案の光・熱インプリント法によるCu/SU-8/Si配線プロセスを適用して実パターンに近い配線層を実際に作製して、それらの結果を比較している。提案するインプリントプロセスによって一般的半導体プロセスの場合に遜色のないパターン形成品質が得られることを実証するとともに、デュアルダマシン銅配線用トレンチ・ビア形成プロセスの工程比較により75%程度の総工程数削減が可能であることを検証している。

最後に第6章においては、化学増幅系光硬化性樹脂SU-8を用いた熱・光併用インプリントによるマイクロパターンニング工程を提案し、デュアルダマシン銅配線工程に適用してその有効性を検証したという本研究の総括を述べている。

本論文は、化学増幅系光硬化性樹脂の架橋メカニズムに着目し、光インプリントと熱インプリントを巧みに組み合わせたマイクロ銅配線の低温形成技術を提案し、デュアルダマシン層という2.5次元配線工程に適用してそのパターン品質確保と大幅な工程短縮を実現したものである。また、ここで提案したインプリント技術は本研究で扱った銅配線工程に限ることなく、広く半導体製造プロセスやMEMS製造プロセスへの適用可能性有していると考えられる。

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。