

超臨界CO₂を用いた超微細加工

1. 超微細加工と超臨界CO₂

LSIの微細化は着実に進行しており、サブミクロンをはるかに下回るデカナノ (deca=10を示す単位) 世代に突入している。量産規模のナノテクノロジーが現実となっている。

LSI製造プロセスでは、真空すなわち希薄気体・プラズマや液体を加工媒体として利用している。特に真空プロセスは、単独の原子や分子、イオンを直接加工に利用できる点から、極めて有効な手段として発展してきた。しかし、高真空の維持やプラズマ利用は高コスト化の要因となっている。またメッキや洗浄など液体を使う工程では、発生する大量の廃液の処理が環境上の問題である。

超臨界CO₂は、液体と気体の中間の性質を有し、さらにゼロ表面張力や溶媒能などの特異な性質を兼ね備えた流体である。化学的に安定で、またリサイクル性も高い。

LSI製造プロセスにおいても、シリコンウェーハ洗浄工程を中心に、超臨界CO₂を利用する研究・開発が進められている。筆者らは、超臨界CO₂の持つナノレベル浸透性などの性質を活かした「超臨界ナノ成膜法」を開発し、LSIの製造プロセスに適用する研究を行っている。

2. 超臨界ナノ成膜法

LSIは、薄膜の堆積加工や除去・パターニング加工を繰り返して製造される。薄膜堆積工程では、下地の凹凸形状に関係なく均一な厚さとなる「段差被覆性」や、高アスペクト開口部内に空げきなく材料を埋め込みできる「埋込み性」が重要となる。

現在の高機能LSIには多層(三次元的) Cu配線が用いられている。その製造工程は、工数・コストとも全工程の半分以上を占めるに至り、最重要技術である。Cu配線は、あらかじめ形成してある配線溝や垂直配線用の微細孔にCuを埋め込んで作る。まず、物

理蒸着法(PVD法)によって下地Cu層を形成し、これを電極として電気メッキでCuを厚化する。ところが、PVD法では原子が雨粒のように飛来するため、高アスペクト孔の奥底では段差被覆性が確保できなくなる。これはメッキ不良をもたらす。さらにデカナノサイズの微細孔にきちんとメッキ液が入るかどうかも懸念が残る。

超臨界ナノ成膜法の概要を図1に示す。本技術では、超臨界CO₂流体中に薄膜原料(有機金属化合物)を溶解し、そのまま流体中で堆積反応を行わせ薄膜を得る。超臨界CO₂流体は、ナノ細孔内にも容易に浸透するので、微細孔の内部まで原料が輸送される。図2は、約50nm幅の配線溝に埋め込んだCuの断面写真である。アスペクト比が高いにもかかわらず、非常に良好な埋込み特性が得られている。

本法の特長を以下にまとめる。

- (1) ナノレベル浸透性を利用し、微細孔内に物質を充填できる。
- (2) プロセスが低温で不純物混入が少ない。
- (3) 原料密度が従来の薄膜堆積法に比べて、10³~10⁶倍もある。MEMSなど高アスペクト・複雑形状のマイクロ部品を、高速に作製できる可能性がある。
- (4) 真空やプラズマを用いず、本質的に低コストである。
- (5) 原料を回収・再利用でき、さらにCO₂自体の回収も可能である。

本技術に基づき、量産で主流の8インチシリコンウェーハを処理できる装置の試作を行った(図3)。装置の実用化にあたっては、信頼性が高く、高速で動作する小型高压部品の採用や、圧力容器の封止・連続開閉技術が鍵となる。また、液体CO₂を超臨界状態にし、均一性良く循環させ、さらに気化・回収・再液化を行うためには、熱交換設計や超臨界熱流体解析などを精密に行う技術が必要である。真空プロセスが

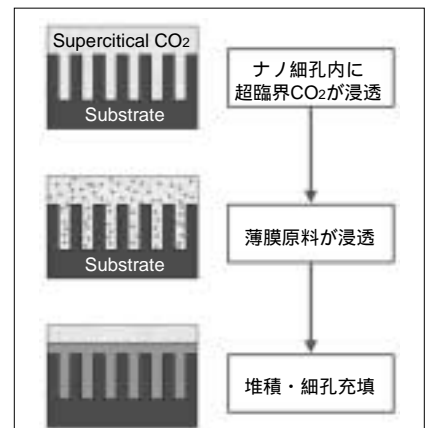


図1 超臨界ナノ成膜法の原理

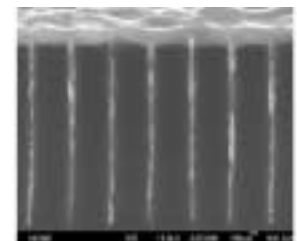


図2 幅約50nmの溝へのCu埋め込み例



図3 200mmウェーハ処理試作機

主であるこれまでの半導体製造装置にはなかった技術であり、開発に占める機械工学の比重が高い。

3. これからの展望

超臨界CO₂は、香料やカフェインなどの抽出に工業的に利用されており、精密性を問わなければ利用技術は確立している。LSI製造などの微細加工に超臨界流体を適用すれば、低コストのグリーンプロセスを構築できる可能性がある。大規模かつ大量消費型のナノプロセスから、小規模循環型プロセスに変革するための、キーテクノロジーに発展する可能性を秘めており、楽しみである。

(原稿受付 2002年8月26日)

〔近藤英一 山梨大学〕