超LSIにおける微細加工技術

Microfabrication of Very Large Scale Integrated Circuits

超LSIの製作には微細加工を要する。これの多量生産はむずかしいが、その中で重要技術のひとつであるドライプロセスによる微細加工技術と、それに要するレジスト材料について解説する。

中 根 久*

Hisashi NaKane

1. はじめに

加工寸法の微細化は、初期の半導体の数10 μm 加工から最近のICの数 μm 加工へと高度化し、現在進行中の超LSIの玄関口といわれる2.5~3.5 μm の微細加工の64K RAMの本格的な量産が行われつつある。2~3 μm 付近での1 μm の寸法を向上するのみでも、その困難性が増加するが、それに伴い加工精度を飛躍的に向上させなければならないので、その困難性は著しく増大する。この難問の解決のために、新規な加工技術、材料の開発がなされてきたし、引き続きなされつつある。それらのごく一部について解説をする。

2. マイクロリソグラフィーの変遷

微細加工を高度化するに従い、解像力、寸法精度の向上などの目的を果たすために幾つか

の改善すべき点が生じてきた。たとえば、(1)マスクを通過してくる光の回折の影響を少なくする。(2)、そのために通常の紫外光線より短い波長の光が光に代るものの利用。(3)、高価なマスクの損傷を防止する。(4)、露光時の熱によるマスクの熱膨張の防止する。などの理由によりマイクロリソグラフィーのエネルギー線源が変遷し、それに伴いその周辺も変化しつつある。たとえば、下記のようなものをあげることができる。

- (a) U.V. リソグラフィー→deep UVリソグラフィー→E.B リソグラフィー→X線リソグラフィー
- (b) エマージェンションマスク→ハードマスク
- (c) マスク用プレート；ガラス→石英
- (d) ハードマスク用レジスト；フォトレジスト→E.Bレジスト
- (e) マスクアライナー；コンタクト→ $1/1$, $2/1$, $4/1$ 縮小投影方式→ $1/1$ ミラー式投影→ $10/1$ 縮小投影方式（ステッパー）

* 東京応化工業(株) 常務取締役
〒211 川崎市中原区中丸子 150
☎ 044 (411) 2131

* Tokyo Ohka Kogyo K. K.
150, Nakamaruko, Nakahara-ku Kawasaki-shi
211

3. ウェットエッチングからドライエッチングへ

通常エッチングといえば化学薬品による腐蝕、所謂ウェットエッチング (wet etching) を意味している。しかし、微細加工分野においては、エッチング深度に応じたサイドエッチングが自ずから生じる等方性エッチング (isotropic etching) のウェットは不適當である。(図1(a)参照)。本法によるものは、精度が得られない、細いものはエッチングの深度が深いときには無くなってしまい不適當なのである。これに代わる優れた方法としては化学薬品を用いないドライエッチング (dry etching) が主流となりつつある。これは減圧中の微量のガスに高周波、高電圧を印加して発生するプラズマ (ラジカル、イオン、エレクトロン、フォトンなどからなる) 気体により行なうエッチングである。減圧度によるガスの状態により、プラズマ、リアクティブイオン、スパッターエッチングなどがある。ドライエッチングによるレリーフは図1の(b), (c)の如くになり、所謂異方性エッチング (anisotropic etching) になる。

エッチングは、選択性を要するために、適用可能な基板の種類と、それをエッチングするガス組成の組合せの例を次に示す。

基 板	ガ ス 組 成
ポリシリコン Si	$\text{CF}_4(+\text{O}_2)$
単結晶シリコン Si	$\text{CF}_4(+\text{O}_2)$
シリコンナイトライド Si_3N_4	$\text{CF}_4(+\text{O}_2)$
酸化シリコン SiO_2	$\text{C}_2\text{F}_6; \text{CF}_4+\text{H}_2$
アルミニウム Al	CCl_3+He
クロム Cr	CCl_4+O_2
酸化クロム CrO_x	CCl_4+O_2

図1

その他の基板でも可能で、たとえば、Mo, Au, W, Ti, Ti-W, Ta などがある。

エッチングの原理は何れも減圧中でプラズマガスと基板が固相反応をし、揮発性の化合物にして揮散させ、その結果としてエッチングの現象を示すものである。たとえば

の如く各々のガスがラジカル、イオンなどに解離し、それらが、たとえば、次の如く反応する。

ドライエッチングは、超微細加工には必須の極めて重要な技術であり、今後益々発展が期待される分野である。

4. ドライエッチング装置について

以上のように、極めて重要なドライエッチングに用いる装置や、ドライプロセスは、元来がドライアッシングから出発し、これがエッチングに転用されるに従い、装置も改良され、進歩し、今日に至っている。

4-1 ドライエッチングの具備すべき諸条件

ドライエッチングの具備すべき条件としては、

- (i) 目的の精度のエッチングができること
- (ii) 処理室内のプラズマ密度が均一で安定なこと。
- (iii) ガスの流れが均一なこと。
- (iv) ウエハー内、ウエハー間のエッチングが均一なこと。
- (V) ウエハーへのダメージが少ないこと。
- (Vi) エッチングのモニタリングができること。……自動終点検出装置をもつこと。
- (vii) 生産性の大きいこと。
- (viii) 故障が少なく、保守の容易なこと。
- (ix) 価格の安いこと。

などをあげることができる。

4-2 装置の種類

大別すると図2の如くなる。何れも電極に高周波、たとえば、13.56MHzまたは100KHz、3000Vの高電圧を減圧下の反応室の外または内側より印加し、内部ガスの放電をさせると所謂低温プラズマが発生する。図2(a)(b)は初期の形式で、多数枚の処理すべきウエハーを1度にそう入したもので、 O_2 プラズマによるフォトリソのアッシング用であった。以後、反応管の内側に多数孔をもつ内管をそう入したタイプにし、プラズマの均一化、中性化を計り、ウエハーの処理枚数を大幅に減じエッチングに転用した。(図3(a)(b)参照のこと)。初期のエッチング用は、加工寸法として10~7 μ mまでの適用が限界であった。その理由は、バラツキが大きい、精度が不足、終点検出が不可能などであった。図2(c)は当初からエッチング用に開発されたもので、Alも可能であるが、多数枚処理のためにバラツキが目立つ、高精度の終点検出が不可能の欠点を有している。

また、ケミカルドライエッチング(CDE)と称する減圧下のガスにマイクロ波電源、たとえば2.45GHzを印加して生じたプラズマを輸送管を介してエッチング室に送り、3~5

図2 プラズマエッチング装置

図3 (a) 円筒型プラズマエッチング装置の概略

図3 (b) 2重管円筒型プラズマ装置の反応管構造

枚のウェハをエッチングするものにより高精度の成果を得ている¹⁾。

4-3 枚葉式自動ドライエッチング装置

超微細化とそれに伴う高精度加工になる一方で、多量生産を行なうためにウェハは、大口径化の方向にある。2年程前までは、3インチ径であったものが、現在では4～5インチ径となっており、6インチ径の試作も終了している。このようなことで加工技術は益々困難性が増大している。

以上の解決法の決定版の一つはウェハを1枚ずつ処理する方法である²⁾。その概略を図4に示す。カセット(1)より1枚のウェハを取出し、予め温度調整したテーブル(5)にのせる。テーブル(5)が上昇し反応室を閉じると同時に真空ポンプにより減圧にする。所定の減圧度に到達すると自動的に高周波高電圧が印加しプラズマを発生させる。通常条件としては、出力 200W, 0.3 Torr, ガス 20～30ml/min を用いる。エッチング終了後、反応室を常圧に戻し、テーブル(5)を下降させ、ウェハをカセット(2)に移し、これを繰返す。処理時間は、基板によるが1枚2～1分である。エッチングの終点検出は、1枚ずつのためバラツキがなく、初めて正確で実用化が可能となった。この原理は、エッチング中のガスプラズマスペクトルの変化を検出して行なっている³⁾⁴⁾。図5(a)(b)参照)。例を図6に示す。

さらに枚葉機をリアクティブエッチングまで可能にしたもの(図7参照)によりサイドエッチングを殆んど0に抑えることが可能となった。この方式は完全密閉のロードロック式⁵⁾で、1枚ずつウェハの出し入れをし、生産性の向上、エッチングにより生じる腐蝕

図4 枚葉式自動プラズマエッチング装置の構成

図5 発光スペクトル法によるエンドポイントディテクタ(終点検出装置)の動作機構³⁾⁴⁾

性、吸湿性ガスからの保護を行ない、エッチングの全自動化を可能としている。

5. 微細加工用耐ドライエッチング性レジストおよび附属材料について

5-1 レジストについて

減圧中でラジカル、イオン、エレクトロン、フォトンなどに曝され、叩かれ、加熱されて安定で、しかも高精度高解像力をもつ有機高分子からなる UV, deep UV, E.B. X線などのレジストは全てにすぐれているものでなければならない。1μmの薄膜レジストで

あっても十分に耐え、高純度をもっている。このようなドライエッチング用レジストの具備すべき性質を以下に示す。

- (i) 殆んど垂直状のレリーフで、高精度、高解像力が再現性よく得られること。
- (ii) 現像時の膨潤が少なく、スカムのないこと。
- (iii) 耐ドライエッチング性、耐イオン注入性すぐれていること。
- (iv) 高純度、高感度であること。
- (V) 接着性、安定性にすぐれ、取扱いが容易なこと。
- (vi) 膜質が強靱なこと。

以上の全ての性質をもつオールマイティのレジストはなく、使い方、装置の改良などで目的に応じて使い分けしているのが現状である。現在実用化されている耐ドライエッチング、耐イオン注入レジストとしては、フェノールノボラックとキノンジアジド系センシタイザーからなるポジタイプフォトレジスト、および環化ゴムと芳香族ビスアジドからなるネガタイプフォトレジストが用いられている。その他のレジストについては今後の研究の結果から目的に合致したものが発表されてくるであろう。

5-2 現像液について

高精度、高解像力を得るためには、現像液の役割りが重要である。現像液のもつべき性質を次に示す。

- (i) 現像時のレジストの膨潤が少なく、またスカムの生じないこと。
- (ii) 不純物が少なく、使用時に組成変化の

図6 ポリシリコンと窒化シリコンをエッチングした場合のモニタリング^{32,43)} (I)はプラズマのスペクトル強度を示す。di/dtはプラズマの光強度を示す。

図7 真空予備室をもった枚葉式プラズマエッチング装置ロードロック式

ないこと。

5-3 リンス液について

少々の膨潤、スカムが現像時にあっても、リンスにより何れも匡正，除去できること。そのためのリンス液としてもつべき性質を次に示す。

- (i) 洗滌力が大で、正確な寸法に匡正する能力を有すること。

(ii) 不純物が少なく、使用時に組成変化のないこと。
などを列記することができる。

6. レジストの種類

現在から今後 1~2 年間は加工寸法として 3~2 μm 用までのものが量産向けに使用されよう。それには、UV 用のネガタイプフォトリソ、ポジタイプフォトリソで十分実用に耐えると思われる。しかし、数年後には、加工寸法として、1~2 μm 用の需要がおきるのは必須であろう。このような超微細加工を行なうには、光の回折によるぼけを防止するために、紫外光 (UV) より波長の短い deep UV、電子線 (Electron Beam) または X 線などを利用することができる。そこでこれらに用いるレジストの研究開発が精力的に現在行われている。これらによれば、1~2 μm の高精度・高解像力の目的は達成できるが、前述のドライプロセス用としては、未だ研究の余地があると思われる。各種レジストが出揃った所で、性能、経済性など総合評価が下されよう。

波長別によるレジストの一般的にいわれている到達解像力を次に示す⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

	波長 $\text{m}\mu$	解 像 力 μm	
		ネ ガ タイプ	ポ ジ タイプ
UV レジスト	300—450	2.0~3.0	1.0~1.5
DeepUV レジスト	200—300	0.5~1.0	0.2~0.15
E. B. レジスト	数 $\text{\AA}$	0.3	0.1
X 線レジスト	数 10 $\text{\AA}$	0.3	0.1

上記に対応する各々のレジストには、たとえば、次の如きものがある。

UV レジスト

ネガタイプ=ポリケイ皮酸ビニル；ポリケイ皮酸エチルビニルエーテル；環化ゴムと芳香族ビスアジドなど。

ポジタイプ=フェノールノボラックとキノンジアジド

deep UV レジスト

ネガタイプ=クロロメチルポリスチレン、フェノールノボラック、芳香族ビスアジド、ポリビニルフェノールと芳香族ビスアジド、など。

ポジタイプ=PMIPK と増感剤；PMMA と増感剤。

EB レジスト

ネガタイプ=ポリグリシジメタリレート；エチルアクリレート共重合体、ポリグリシジメタクリレート、ポリスチレンなど。

ポジタイプ=PMMA、ポリブデンスルフォン。

X—線レジスト……殆んどが EB レジスト共通。

微細な画線を得るには、レジスト材料、露光機、現像液、リンス液、ドライプロセスなどを用いた総合技術の結果として得られるもので一部でも欠けると達成できない。今後とも超 L S I 級の微細加工には益々高度な総合技術が求められよう。

文 献

- (1) 菅野編；半導体プラズマプロセス技術，産業図書，昭和55年7月 p.125
- (2) 中根，植原他，第14回半導体シンポ（電化協）1978. MAY
- (3) 秋谷他，第25回応物講演予稿 p.248, 1978
- (4) 尾嶋他，" " " p.247. "
- (5) 東京応化；技術資料 OAPM-500 シリーズ
- (6) 右高，第10回半導体シンポ（電化協）p.80 1976, MAY
- (7) 中山，" " " " p.88 " "
- (8) 東京応化；技術資料 レジスト シリーズ