

# 卒業研究報告

## 題目

フォトソングラフィー工程における条件の最適化

---

## 指導教員

神戸 宏 教授

---

## 報告者

西岡 伸博

---

平成 13年 2月 9日

高知工科大学 電子・光システム工学科

## 目次

<b>1</b>	<b>背景と目的</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>リソグラフィー工程</b> .....	<b>2</b>
2.1	フォトリソグラフィーとは	2
2.2	リソグラフィー工程	3
	(b)レジスト塗布	4
	(c)露光	5
	(d)現像	5
	(e)エッチング	6
	(f)レジスト除去	6
2.3	蒸着, リフトオフ	7
<b>3</b>	<b>実験</b> .....	<b>8</b>
3.1	実験手順	8
3.2	実験結果	9
	3.2.1 パターンの状態	9
	3.2.2 露光・現像時間の変化による結果	11
	3.2.3 エッチング処理の結果	13
	3.2.4 リフトオフ処理の結果	15
<b>4</b>	<b>実験で注意すべき事項</b> .....	<b>16</b>
4.1	実験結果による工程手順	16
	4.1.1 基板	16
	4.1.2 洗浄	16
	4.1.3 基板の乾燥	16
	4.1.4 レジスト塗布	17
	4.1.4.1 レジスト塗布工程	17
	4.1.4.2 注意事項	17
	4.1.5 プリベーク	17
	4.1.6 露光	18
	4.1.6.1 露光工程	18
	4.1.6.2 注意事項	18
	4.1.7 現像	18
	4.1.7.1 現像工程	18

4.1.7.2	現像時間	19
4.1.8	ポストベーク	19
4.1.8.1	ポストベーク	19
4.1.8.2	ポストベークの温度	19
4.1.9	加工工程	19
4.1.10	レジスト除去	20
4.2	マスク・パターンの設計	20
<b>5</b>	<b>おわりに</b>	<b>20</b>
	<b>参考資料</b>	<b>21</b>
	<b>謝辞</b>	<b>21</b>
<b>付録</b>	<b>付録 1</b>	<b>22</b>
	<b>付録 2</b>	<b>23</b>

## 1. 背景と目的

IC, LSIなどの半導体デバイスを製作する際の微細なパターンの加工にはフォトリソグラフィ技術が使われている。フォトリソグラフィ技術とは、写真製版技術を高度化したもので、フォトリソと略されても呼ばれている。フォトリソグラフィ技術による微細加工とは、フォトレジストと呼ばれる感光性樹脂を用いて、所定のパターンを半導体基板の上に焼き付け、そのパターンに応じた加工をする技術である。半導体デバイスの集積度を高めたり、動作速度を速くしたりするには、加工の微細度を高める必要がある。現在超LSI作製技術では、この技術により、既に $0.1[\mu\text{m}]$ 以下のパターンが作られている。しかし、半導体レーザやフォトダイオード、光導波路などの光デバイスの大きさは、基本的に光の波長以上の大きさであるので、密着型露光機を使った $\mu\text{m}$ オーダーの精度のフォトリソグラフィ技術でも十分対応できる。そのため、本研究では、本学のクリーンルームに設置されているフォトリソグラフィ装置を十分に使いこなし、光デバイス作製実験に必要な加工技術を確認することを目的として、リソグラフィ工程の手順や条件を明らかにした。

今回の実験では、塗布機（コーター）の回転数（レジストの膜厚が変化する）、露光時間や現像時間などを取り上げ、求めるレジストパターンを得るための各工程の最適条件を明らかにした。

本論文では第2章で微細加工技術の中の一つであるリソグラフィ技術について述べている。半導体デバイスを製作する際の微細加工には、ほとんどリソグラフィ技術が使われており、リソグラフィ工程の流れに沿って、その各工程の説明や役割を挙げている。

第3章で実際にSi（シリコン）基板上にレジストパターンを作製し、フォトリソグラフィの各工程での条件を変化させた。レジストパターン形成後、エッチングやリフトオフ処理も行い、それぞれの条件や処理で得られた結果を述べている。

第4章では本研究で得られた結果をまとめ、実際に本学で半導体デバイスを製作する時のリソグラフィ工程の手順や注意事項を述べている。

第5章では本研究で得られた結果をまとめる。

## 2. リソグラフィー工程

本章では微細加工技術の中でのリソグラフィー工程の役割などについて述べる。フォトリソグラフィーは半導体デバイスを製作する際にほとんどの場合で使用されており，使用されるレジストなどの説明，レジスト塗布や露光，現像などの各工程についての説明や注意事項を挙げ，リソグラフィー工程のおおまかな流れと各工程の役割を述べる。

### 2.1. フォトリソグラフィーとは

フォトリソグラフィーとは微細加工技術の中の一つで，ガラスマスク基板表面に形成されている回路パターンを，Si(シリコン)などの半導体基板表面にレジストパターンとして転写する技術である。

半導体デバイスを製作する際の微細加工の中で使われているレジストということばは，英語の resist に由来している。英和辞典によれば，動詞としては「抵抗する」などと記されている。微細加工のなかで使われている「レジスト」とは，「エッチング液など」に抵抗するものという意味で使われている。そして，さらにこの場合，レジストは光あるいは電子線などの放射線に反応して性質が変化する感光性材料でもある。感光によって現像液という溶媒に対して溶解性が変わる。光が照射された部分がアルカリ溶液（現像液）に溶ける化学構造に変化することにより，光が照射されていない部分のレジストパターンを残すものを「ポジ型レジスト」と呼び，反対に，光の照射されていない部分はもともと溶液に溶ける性質をもっており，照射された部分が化学反応によりアルカリ不溶になってレジストパターンが残るものを「ネガ型レジスト」と呼んでいる。

## 2.2. リソグラフィ工程

基板を微細加工する工程の基本的な流れを図に示す。各工程の説明を以下に述べる。ここで(a)の基板はエッチングにより加工されるもので、半導体や、光導波路用のガラスなどを想定している。

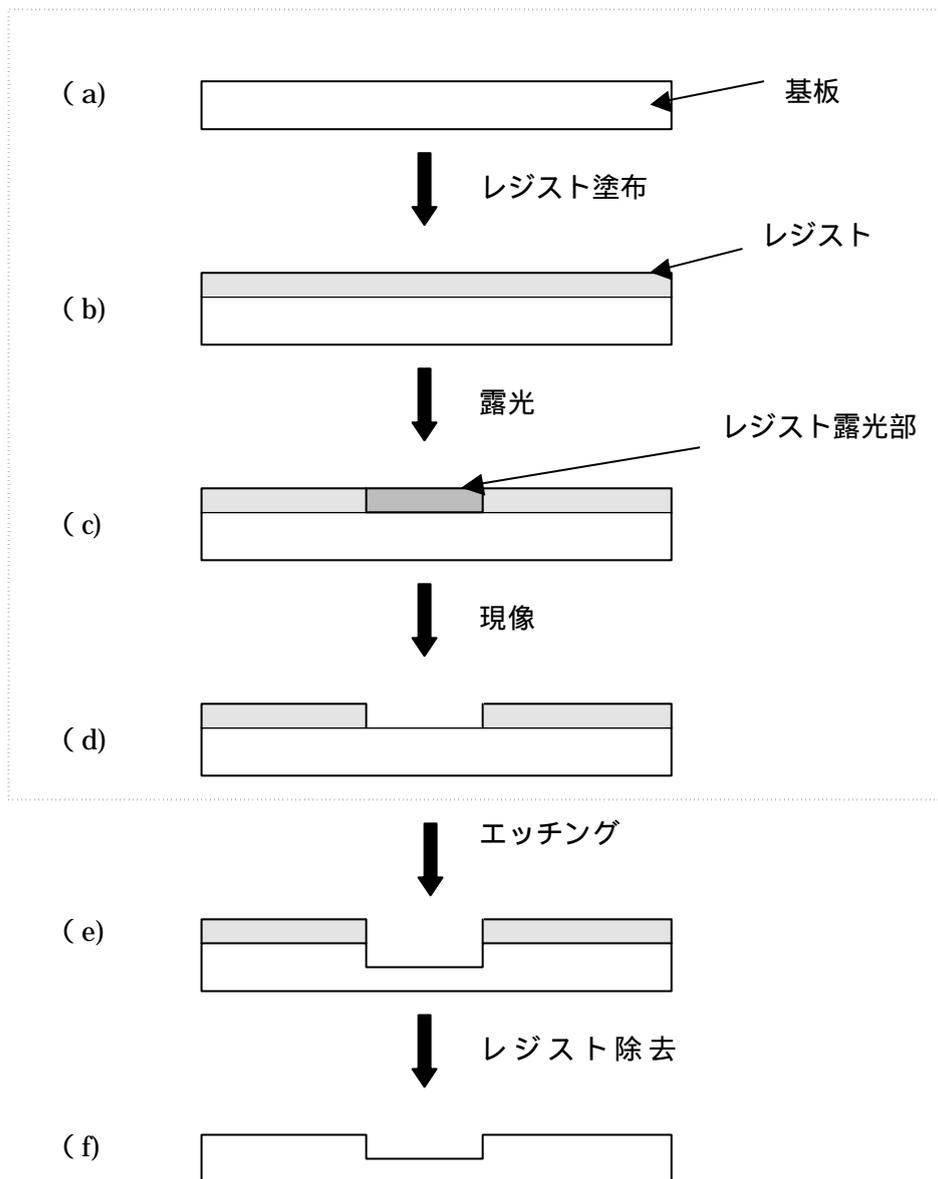


図 リソグラフィ工程説明図,(a)～(f)の全工程は広い意味でのリソグラフィ工程,点線で囲んだ領域は狭い意味でのリソグラフィ工程を表す。

## (b) レジスト塗布

基板はレジストを塗布する前に十分に洗浄をしておかなければならない。半導体では、ゴミや微量不純物（金属や有機物）は高歩留り、高性能、高信頼性を確保する上で大敵となる。もともと非常に清浄な環境であるクリーンルームで製作をしても、微量汚染に晒されることを100%防ぐことはできない。それ以上に、ウェーハに実際のプロセス作業を行うと、装置やプロセス反応そのものから、何らかの汚染が導入される。このような汚染を除去するため、「洗浄」という工程は非常に重要である。

洗浄法としては、薬液を用いたウェット洗浄が主に用いられている。洗浄液にもいくつかの種類があり、それぞれ除去効果が異なる。したがって、単独ではすべての汚染を除去できないので、いくつかの薬液を組み合わせる。洗浄後の乾燥には、窒素ブローや遠心力を利用したスピンドライ法などが用いられる。具体的な洗浄法については4.1.2で述べる。

ウェーハを洗浄後、必要ならレジストのウェーハへの密着性をよくするために、塗布前ベークを行う。ついで、表面上に感光性樹脂であるフォトレジストを塗布する。レジストは均一に薄く塗布することが重要である。このため、ウェーハを塗布機（コーター）と呼

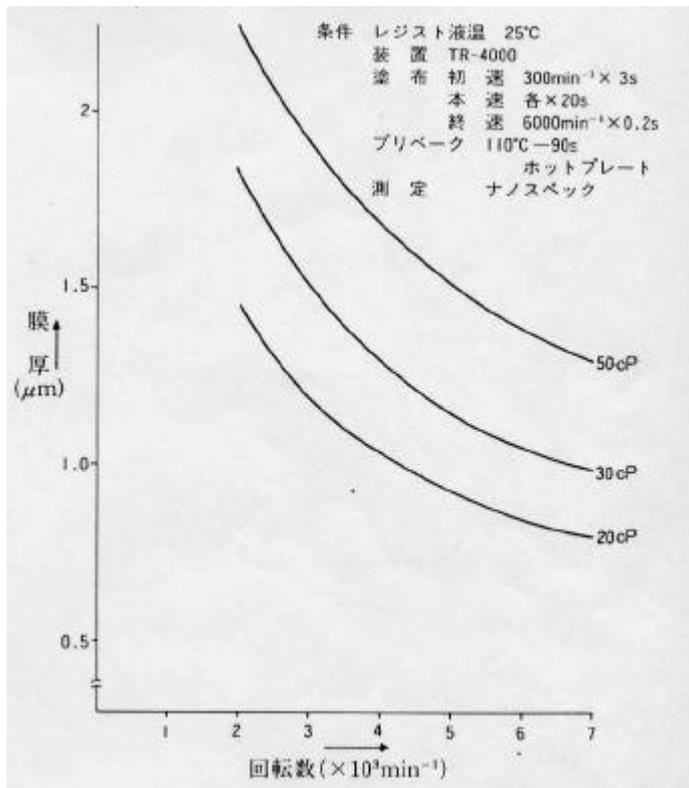


図 レジスト（OFPR-800）の回転数-膜厚曲線  
（東京応化工業㈱カタログによる）

ばれる装置の回転支持台に吸着し、液状のフォトレジストをウェーハ表面に数滴落とし\*、ウェーハを高速回転させ、薄いレジスト被膜を作る。（スピノン法または回転塗布法と呼ばれる。）このためコーターは、スピノン・コーター又は、スピナーとも呼ばれる。

レジスト膜厚は、主にレジスト粘度と回転数およびレジストに含まれる溶媒の種類で決まる。用いたレジスト（東京応化工業、OFPR-800、標準g線ポジ型フォトレジスト）のカタログに記載されているデータを図に示す。これは粘度と回転数における膜厚を表している。粘度の測定はできなかったため、このデータを参考として用いることとした。

\*今回の実験では、ウェーハの90%以上がレジストで覆われる程度を滴下した。

レジストが塗布されたウェーハは、プリベークと呼ばれる軽い焼きしめ（今回の実験では温風循環乾燥機 110℃, 7 [min]）の後、露光工程に移る。レジストは有機溶媒に溶けて溶液の状態になっており、プリベークはレジスト中に残っている溶媒を蒸発させて膜を緻密にするために行う処理である。

### (c) 露光

露光工程ではウェーハを露光装置にセットし、必要とするマスク・パターンを転写する。露光装置にはマスクをレジストと密着させて露光するタイプのものを使用した。ステッパと呼ばれる縮小投影法によって露光するタイプのものもある。

今回の実験で使用したマスク・パターンは、L & S（ラインとスペースが交互にあるパターン）と、フォトダイオード用に設計した滴のような形をしたパターン（付録 1 参照）などである。

### (d) 現像

露光されたウェーハは、PEB（Post Exposure Bake：露光後焼き締め）と呼ばれる熱処理後、現像処理する。この PEB の目的は、露光に用いた光（水銀ランプを用い、出て来る輝線は g 線（波長 436 [nm] の青い光）や i 線（波長 365 [nm]））がレジストの中で、定在波の影響を受けてレジストのパターンエッジがギザギザになるのを消すためであるとされている。

前述したように、現像処理で露光部分を溶かすのがポジ型レジスト、露光部分を残すのがネガ型レジストである。（図 4）

今回の実験で使用したレジストは g 線ポジ型レジストである。

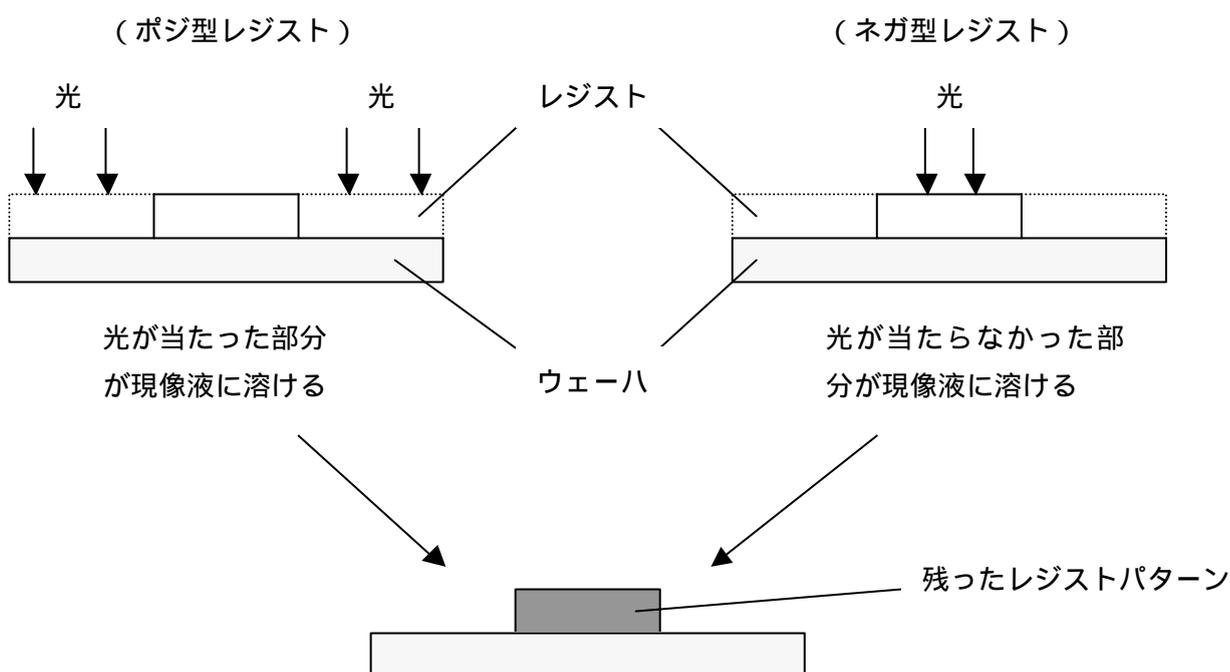


図 4 現像の仕組み

現像後パターンをチェックし、パターンがうまくできていれば、ポストバークと呼ばれる熱処理をする。ポストバークは残存する現像液やリンス液、水分を除去するとともに、レジスト膜の密着性と次工程のエッチング耐性を向上させるために行う。(今回の実験では温風循環乾燥機 120℃, 5 [min] で行った。)

#### (e) エッチング

エッチングには、ドライエッチングとウェットエッチングがある。

- ドライエッチング・・・プラズマ化したガスにより、イオンが基板に衝突して物理的に元素を弾き飛ばす現象のスパッタリングや表面化学反応を起こし、エッチングが進行する。メカニズム上、結晶欠陥や汚染などの物理的ダメージが起こり易く、これによる絶縁破壊、またパターンの粗密によりエッチング速度が異なるという現象(マイクロ・ローディング効果)などの問題が起こりやすい。
- ウェットエッチング・・・薬液の中にウェーハを浸け化学反応によりエッチングを行う。ドライエッチングと異なり、エッチングが等方的に進行するので、少なくともエッチングすべき膜の厚さ分だけは、サイドエッチ(図)が起きてしまう。このため微細なパターンが必要な場合には、あまり向いていない。

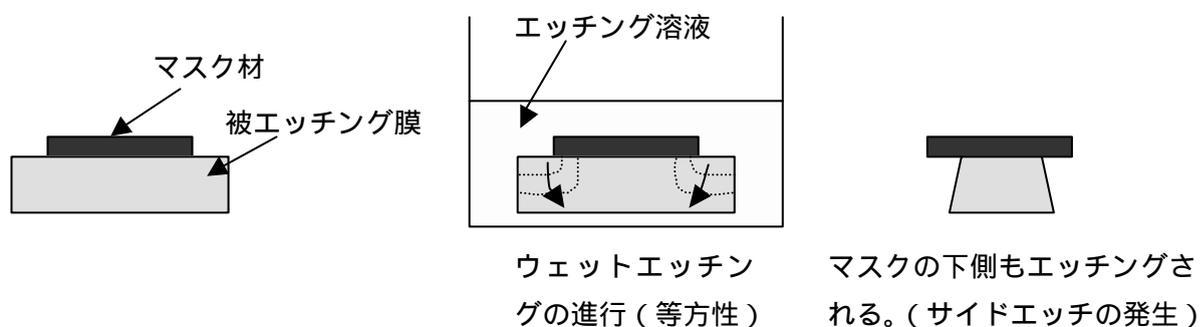


図 ウェットエッチングによるサイドエッチ

#### (f) レジスト除去

レジスト除去の方法には剥離液を使った方法がある。他にドライエッチングのプラズマ中でレジストを除去するアッシング(灰化)という方法がある。

今回の実験では全て剥離液でレジストを除去している。

### 2.3. 蒸着，リフトオフ

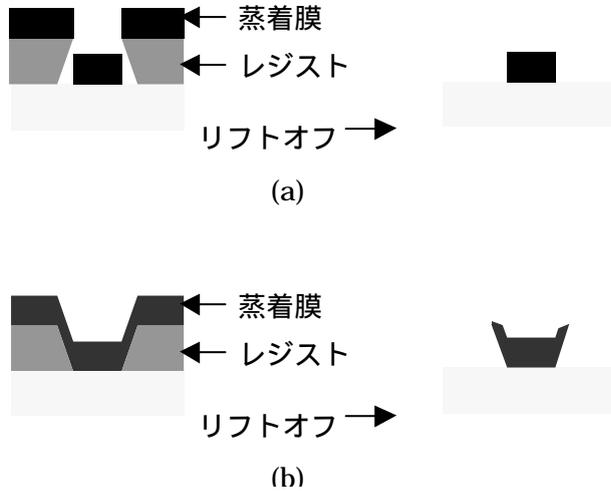


図 レジストの形状によるリフトオフプロセスの違い

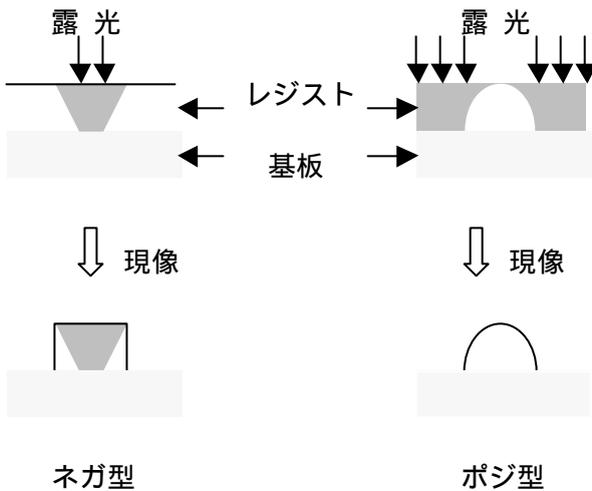


図 ネガ型，ポジ型レジスト断面形状比

った場所の表面からレジストが現像液に溶けていき，ポジ型レジストの場合は，光が一番強く当たった場所の表面からレジストが溶けていく。ネガ型の場合には，現像を適当な時期に打ち切れば，図（a）のようなレジスト像をつくることができる。

よってリフトオフに適しているのは，どちらかといえばネガ型レジストになる。今回用いたレジストはポジ型であるのでリフトオフには必ずしも適していない。何らかの対策が必要である。

図では示していないが，この他の工程として電極付けがある。ここではそれについて述べておく。

レジストのパターンは，エッチングとは別に蒸着という方法を使って，選択的に金属などの膜を生成したいときにも使用される。蒸着させたいものに電気を流したり，ビームを当てたりして蒸発させ，蒸発したものが試料に積もり，蒸着膜を生成する。

図の（a）のようなレジストパターンの上に，例えば金属膜を蒸着し，溶剤（剥離液）につけてレジストを除去（リフトオフ）すれば，レジスト上の金属膜も除去されて金属膜パターンが得られる。このとき（b）のようなパターンであれば側壁に付着した金属膜のため，エッジの乱れたパターンになったり，リフトオフできなったりする。

図において，フォトリソが感光した部分は水平の線分で示してある。レジストによる光の吸収のため，基板に近い部分ほど感光部分の割合が少なくなっている。このように露光されたレジストを現像すると，ネガ型レジストの場合は，光が一番弱く当た

### 3. 実験

本章では本学に設置されているフォトリソグラフィー装置を用いて、実際にレジストパターンをシリコン基板上に作製し、その作製時のリソグラフィー工程の各条件、コーターの回転数、露光時間、現像時間を変化させてみる。この各条件を変えることでその条件下におけるレジスト膜厚の変化、どの条件でレジストパターンがマスク・パターンと同じように再現されるかを実験により求めている。

レジストパターン形成後、エッチングやリフトオフなどの処理を行い、それぞれの処理がレジストにどのような影響を与え、処理後のシリコン基板の表面状態はどうなっているかを求めている。また、エッチングやリフトオフにはどのような条件のレジストが適しているかを実験結果から考察してみる。

#### 3.1. 実験手順

ウェーハの洗浄（各 5 分）

超音波洗浄...アセトン（約 20 cc）

超音波洗浄...メタノール（約 20 cc）

超音波洗浄...純水（約 50 cc）

ウェーハの乾燥

窒素ブローの後、コーターにウェーハを吸着させ、スピンドライ（2～3秒）

フォトレジスト塗布

ウェーハに感光性樹脂であるフォトレジスト（OFPR-800，20cP）を塗布し、コーターを高速回転させ、薄いレジスト被膜を作る。

プリバーク

露光前の焼き締め。（温風循環乾燥機，110℃，7 [min]）

露光

露光装置にマスク、ウェーハをセットし、露光する。

現像

露光後のウェーハを現像液に浸け、現像する。 所定の時間経過後、すぐにリ

ンス液（今回では純水）へ浸ける。

#### リンス

現像したウェーハを流水（純水）に浸け，約 30 秒間洗浄する。

#### ポストバーク

パターンをチェックした後，120 ， 5 [min] でレジストを焼き固める。

### 3.2. 実験結果

#### 3.2.1. パターンの状態

実験に使用したウェーハは約 1 [cm] 角のシリコンウェーハで，マスク・パターンは L & S パターンで一番細い線幅 2 [  $\mu\text{m}$  ] のラインがきれいに現像されるかを実験。表 にコーターでのそれぞれの回転数における実験結果を示す。 はパターンがきれいにできたもの， $\times$  はできなかったもの， はパターンが完全にはまだできていない状態をそれぞれ示す。( ) , ( ) , ( $\times$ ) は実験していないが表の上下，左右から推測されるものを示す。

表 コーターの回転数におけるレジストパターンの実験結果

3000 [ rpm ]

	現像時間 (sec)	7	10	15	18	20	30
露光時間 (sec)							
3		( )	( )				
5		( )	( )		( )	( )	
10		( )		( )			×
20		( )	( )	( )		×	(×)
30		( )				×	(×)

4000 [ rpm ]

	現像時間 (sec)	7	10	15	18	20	30
露光時間 (sec)							
3		( )	( )		( )	( )	
5		( )	( )		( )	( )	( )
10		( )					
20		( )			( )	×	(×)
30		( )		×	(×)	(×)	(×)

5000 [ rpm ]

	現像時間 (sec)	7	10	15	18	20	30
露光時間 (sec)							
3		( )	( )		( )		×
5		( )			( )	( )	(×)
10		( )			( )		(×)
20			×	(×)	(×)	(×)	(×)
30			(×)	(×)	(×)	(×)	(×)

6000 [ rpm ]

	現像時間 (sec)	7	10	15	18	20	30
露光時間 (sec)							
3		( )			( )		×
5		( )		( )	( )	( )	(×)
10		( )		( )	( )		(×)
20				( )	( )		(×)
30			×	×	(×)	(×)	×

パターンの状態については，コーターの回転数が増えるにつれてレジストの厚さは薄くなっていくので，露光時間，現像時間とも短い時間でパターンが形成されると予測することができる。実際に表に示した実験結果でも，パターンがうまく再現されたの部分はコーターの回転数が増えるにしたがって，表の左の方へとシフトしている（露光時間，現像時間とも短い条件の位置にシフトしている）ことから，予測と同じ結果を得ることができた。実験をしていない推測の部分( )，( )，(×)は実験結果の傾向の中に入っている

ので、妥当なものと思われる。

### 3.2.2. 露光・現像時間の変化による結果

露光時間 10 [sec] , 現像時間 10 [sec] と一定にしておき , コーターの回転数におけるレジスト膜厚の変化を図 に示す。図 はパターンをきれいに出すことを目的とせずに回転数の変化だけで , 膜厚がどのように変化するかを調べたグラフである。これは 6000 [ rpm ] 時にパターンが再現される条件であるので図 を見てもわかるように , コーターの回転数が下がるにしたがって露光部分のレジストがまだ現像されずに残っている。

6000 [ rpm ] できれいにパターンが出る露光時間 , 現像時間なので , 回転数が下がるにしたがって , 膜厚が厚くなり現像しきれずにレジストが残っていることが図 から分かる。

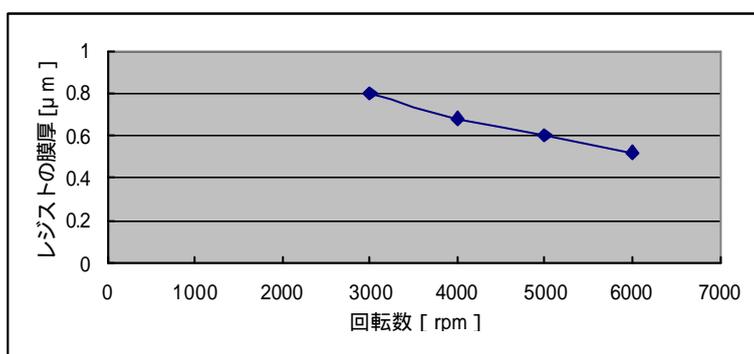
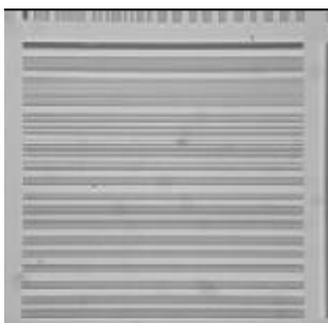


図 露光時間 10 [sec] , 現像時間 10 [sec] での回転数におけるレジスト膜厚の変化

6000 [rpm ]



5000 [rpm ]



4000 [rpm ]



3000 [rpm ]



図 顕微鏡で見た写真画像

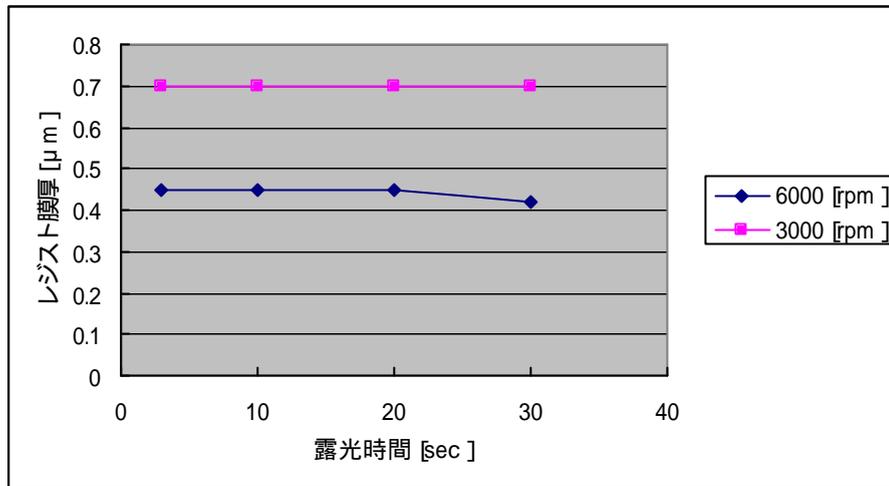


図 現像時間 20 [sec] 一定で露光時間を変化させた場合の膜厚の変化

図 から露光時間を変化させても、レジスト膜厚はあまり変化が見られなかった。現像時間が長すぎるため、変化が無くなってきたのかと思い、次に現像時間を 15 [sec] と短くして、同じ実験をしてみても同様にほとんど変化は見られなかった。

予測では露光時間が長くなるにつれて、レジストの感光された部分の化学反応が強くなり、現像時間が一定という条件だと、膜厚は薄くなっていくと考えていたが、実験結果よりパターンが形成される範囲内の現像時間であれば、露光時間による現像後のレジスト膜の変化はほとんど考えなくてよいと思われる。

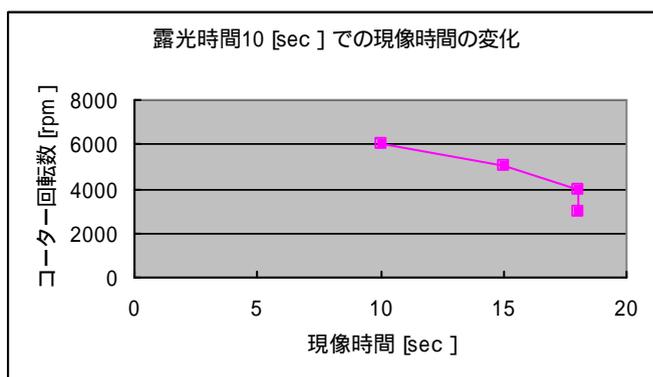


図 露光時間 10 [sec] 一定で回転数を変化させた場合のパターンがきれいにできる現像時間の変化

左図 は露光時間 10 [sec] でそれぞれのコーター回転数、すなわちレジストの膜厚によって、きれいにパターンができる現像時間がどのように変化していったかを示したグラフである。このグラフから、回転数が高い(レジスト膜厚が薄い)場合には、最適な現像時間は短く、逆に回転数が低い(レジスト膜厚が厚い)場合には、現像時間は長くなっていることがわかる。さらに今回使用したレジストでは 4000 [rpm] ぐ

らいからは、現像時間が変化しなくなっている。これは、使用したレジストの粘度によるものだと考えられ、粘度がさらに高いものを使用すれば、現像時間は長くなっていくと考

えられる。

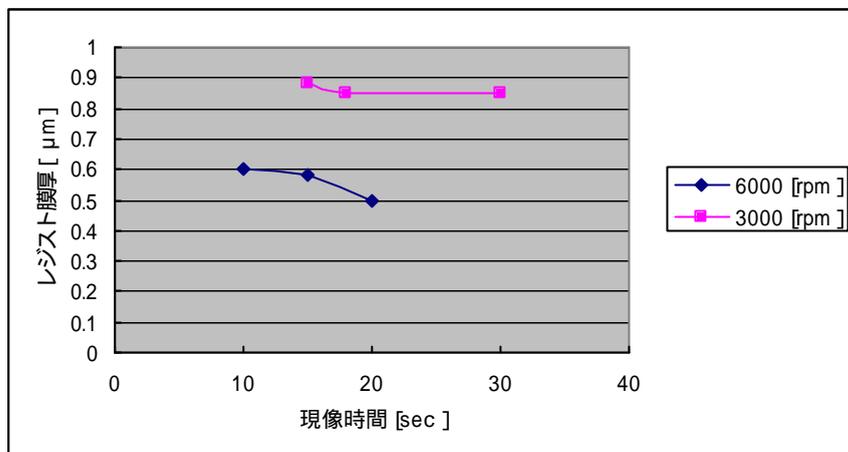


図 露光時間 3 [sec] 一定で現像時間を変化させた場合の膜厚の変化

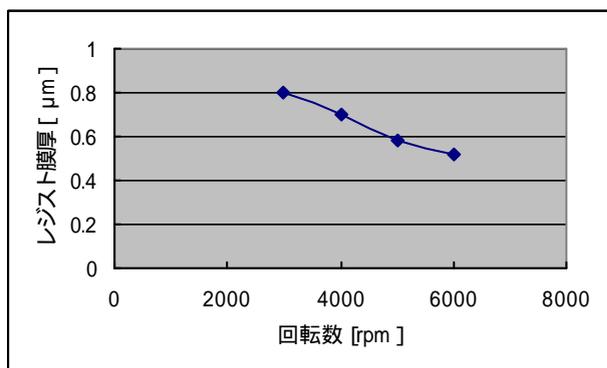


図 露光時間 10 [sec] の時それぞれの回転数でレジストパターンがきれいにでたときのレジスト膜厚の変化

図 は露光時間 10 [sec] の時、それぞれの回転数でレジストパターンがきれいにでたときのレジスト膜厚の変化を示しており、現像時間はそれぞれ

3000 [rpm] ...18 [sec]

4000 [rpm] ...18 [sec]

5000 [rpm] ...15 [sec]

6000 [rpm] ...10 [sec]

の条件で実験した。

図 から分かるようにコーターの回転数の変化によるレジスト膜厚の変化は、現像処理を行いパターンが再現された状態でも変わらず、回転数が上がればレジストの厚さは薄くなっていることが分かる。これはカタログに示されているデータと傾向は一致している。

### 3.2.3. エッチング処理の結果

シリコンのエッチング処理には、初めコーター回転数 6000 [rpm]、露光時間 10 [s]、現像時間 10 [s] という条件でレジストを塗布した基板を使用し、エッチング液にはフッ酸、硝酸、酢酸を 2 : 15 : 5 の割合で混合したもの（この割合でのエッチング速度の理

論値は5 [  $\mu\text{m} / \text{min}$  ] ) を使用したが、ほとんどエッチングされず、レジストははがれてしまうという結果になった。ポストバークはエッチング耐性を高める効果があるのでポストバーク時の温度を 160 ，時間を 30 [ min ] にしたりしてエッチング耐性が高まるようにして行ってみたが、結果はほとんど変化が見られなかった。

レジストがはがれるのは、シリコン基板の自然酸化膜上にレジストが塗布されているため、エッチング処理時に自然酸化膜と一緒にレジストも除去されているのではないかと考え、リソグラフィ工程の中で基板に次の処理を加えてみた。洗浄処理時の純水での超音波洗浄後にフッ酸溶液に 1 [ min ] 浸け、純水にて 30 [ s ] 間のリンスを行いシリコン基板上の自然酸化膜を除去する。リンス処理後、すぐにレジストを塗布してリソグラフィ工程を進める。レジストの露光部分が現像液に溶けずに少し残っているという可能性もあったので、現像時間も 15 [ sec ] と長くしてエッチング処理を行ってみた。エッチングされた深さの結果は図 に示されているようになった。(このときには 500 [  $\mu\text{m}$  ] の円のパターンを使用。)

次にもう一度現像時間はそのまま、フッ酸処理を行わないでエッチングを行ってみると、図 のような結果となり、2 [ min ] 間エッチングを行ったものが 1 [ min ] 間のものよりエッチングされないという結果になった。フッ酸処理なしで現像時間も最初の 10 [ sec ] にして 1 [ min ] 間のエッチング処理を行ってみると、2 [  $\mu\text{m}$  ] 程度、図では 30 [ sec ] 間のエッチング厚と同じくらいではあるがエッチングされた。

フッ酸処理なしで 2 [ min ] 間エッチングを行ったものはエッチング後の表面が白くくもったような状態になっていた。原因としては、基板の表面が汚れておりエッチングが汚れの影響でうまく進まなかったと思われる。フッ酸処理ありのエッチング結果が理論値より下の方になっているのは、エッチングを行った時にエッチング液を交換せずに使ったため、エッチング液の力が低下してしまい、エッチング量が少なくなってしまったと考えられる。フッ酸処理ありでエッチング液も随時交換してエッチング処理を行ったものは、今回使用したエッチング液のエッチング速度の理論値とほとんど同じ値の結果が得られた。

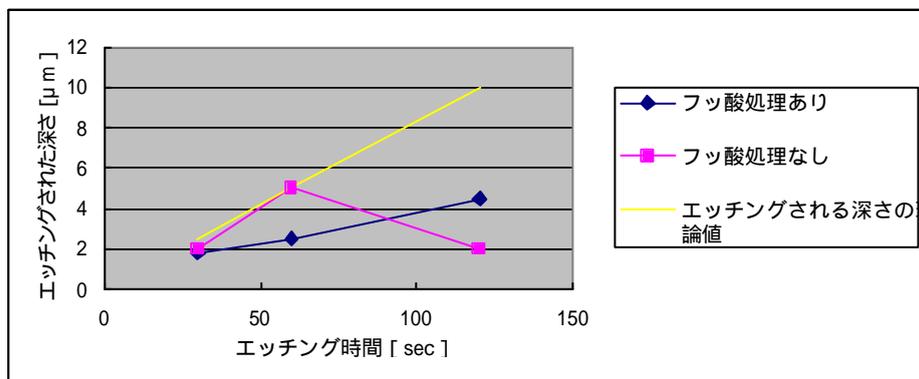


図 フッ酸処理の有無によるエッチング処理を行った時のエッチングされた厚さの変化

### 3.2.4. リフトオフ処理の結果

リフトオフに使用したウェーハは、エッチング工程でフッ酸処理を行ったものをそのまま使用した。500[ $\mu\text{m}$ ]にメサエッチングされたウェーハにコーター回転数 600[rpm]、露光時間 10[s]、現像時間 15[s]で 100[ $\mu\text{m}$ ]の円のレジストパターンを作り、その上に金を蒸着させた。図 にフッ酸処理を 1 [min] したものに、蒸着後リフトオフを行った時の顕微鏡画像を示す。図 (a) はリフトオフが成功した部分、(b) と (c) は失敗した部分の画像になる。(b) は蒸着膜の残したい部分とリフトオフしたい部分の蒸着膜がくっついたままになっている。これはレジストの側壁にも蒸着膜が付着し、リフトオフができなかった状態だと思われる。(c) は残したい部分の蒸着膜がはがれかかっている。

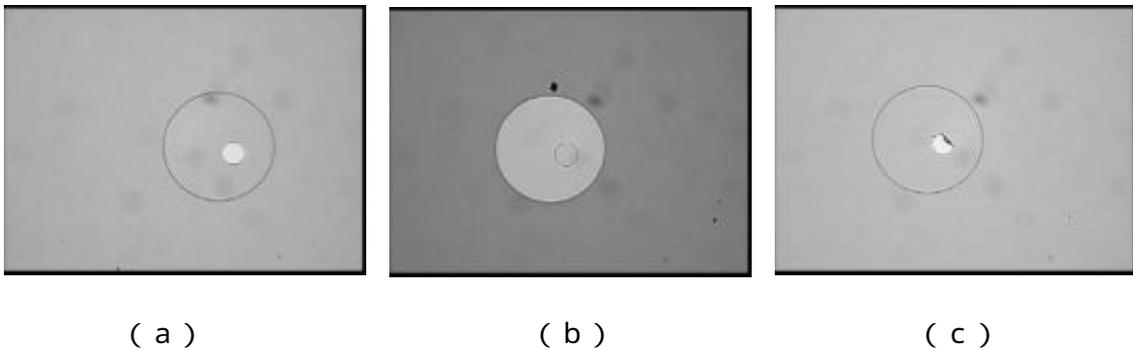


図 リフトオフ後の蒸着膜の状態を顕微鏡で見た画像 (a) 成功部分、(b) 失敗部分 (リフトオフが完全にはできていない。),(c) 失敗部分 (残したい部分まで、はがれてしまっている。)

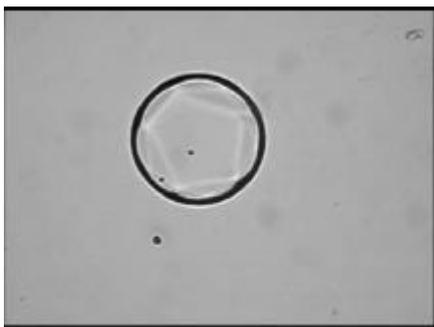


図 エッチング後の状態 (エッチング 2 [min] 間のもの)

これはレジストの側壁にも蒸着膜が付着して一緒にリフトオフされなかったか、あるいは蒸着膜とウェーハの密着性が弱かったためにはがれかかっている状態だと思われる。(c)の原因が後者だとすると、ウェーハに蒸着膜を成長させる時も表面の洗浄を行った方が良いかもしれない。他に(b),(c)共に考えられる原因は、エッチング後のウェーハの表面状態が平坦ではなく山のように(メサ型)になっており(図)、蒸着膜も平坦に成長していないため剥がれやすくなっている可能性も考えられる。

#### 4. 実験で注意すべき事項

本章では今回行った実験で得られたリソグラフィー工程における各工程の条件や注意事項を踏まえて、実際に本学のフォトリソグラフィー装置を用いて半導体デバイスを製作する時のリソグラフィー工程を工程の流れに沿って詳しく述べた。

##### 4.1. 実験結果による工程手順

実験をしてきて気づいた注意点などを含めたリソグラフィー工程の詳しい実験手順を次に示す。

##### 4.1.1. 基板

リソグラフィー工程で使用する基板は、パターンを作りたい面ができるだけきれいなものを使用すること。キズなどが入っているものだと、レジストを塗布した時にレジストがうまく均等に広がらなくなってしまいますので、パターンがきれいに転写できなくなる。

##### 4.1.2. 洗浄

洗浄は基板の汚れなどを除去してくれるのできちんを行うこと。手順は下に示した通りである。時間は各 5 [ min ] 間行う。

アセトンなどの薬液は危険なので注意して取り扱うこと。

超音波洗浄...アセトン (約 20 cc)

超音波洗浄...メタノール (約 20 cc)

超音波洗浄...純水 (約 50 cc)

##### 4.1.3. 基板の乾燥

洗浄処理の後、基板を乾燥させレジストを塗布する。この乾燥が重要で窒素ブローとコーターによるスピンドライを行う。最初に窒素ブローを行い基板上の水分を十分飛ばす、このブローがきちんできていないと、レジストを塗布した際に斑点のようなものができてしまい、レジストが均一に広がらない。ベーキング（加熱）による方法もあるようだが今回は行わなかった。スピンドライについては次の節で述べる。

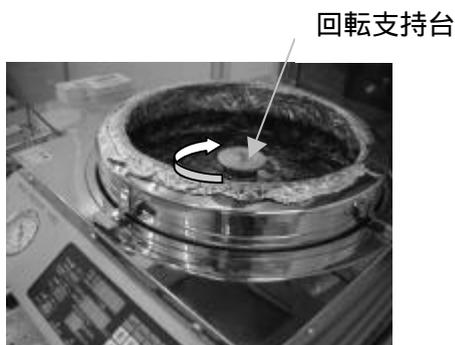


図 コーターの実物写真

#### 4.1.4. レジスト塗布

##### 4.1.4.1. レジスト塗布工程

コーターに次に示す回転をコーターにインプットする。

初速 300 [ rpm ] ...3 [ sec ]

本速 3000 ~ 6000 [ rpm ] ...20 [ sec ]

終速 4000 ~ 7000 [ rpm ] ...0.2 [ sec ]

初速の部分はレジストを基板にある程度広げるための回転。本速は必要な膜厚にする回転。終速の部分基板の端に残ってしまっ

ているレジストを飛ばす役割がある。

窒素ブローによる乾燥終了後、コーターの回転支持台（図 参照）に基板をのせる。基板は真空ポンプによって回転支持台に吸着し、固定する。固定した後、念のため回転支持台を 2 ~ 3 [ sec ] 高速回転させさらに水分を飛ばす。（これがスピンドライになる。）スピンドライ終了後、レジストを数滴落とし\*、必要な回転数で回転させ、レジスト被膜を基板上に作る。

##### 4.1.4.2. 注意事項

コーターに基板をのせた状態で、スタートボタンを押せば、自動的に吸着され、真空にひく力がある程度あがったら回転が始まるようになっているが、真空にひくチューブなどにレジストなどが詰まっても、基板が吸着されていないのに吸着されたものと誤作動を起こし、基板が回転で飛んでしまうので、バキュームボタンを押していったん吸着させてみて、きちんと吸着しているかを確認してからスタートさせる方が良い。

##### 4.1.5. プリベーク

レジストを塗布した基板を温風循環乾燥機 110 ,7 [ min ]にて軽く焼き締める。レジストは有機溶媒に溶けて溶液となっており、その溶媒を蒸発させるためにプリベークを行う。プリベークの時間を長くしたりすると、後の現像時間が変わってくるという結果が、他の人の実験ででているみたいなので、プリベークの時間を変えて行いたい場合はそちらのレポートを参照してください。

\* レジストの量が少なくてきれいに広がらないので基板の 90% がレジストで覆われる程度を滴下する。

マスク・パターン固定部                      ステージ



図 露光装置の実物写真

#### 4.1.6. 露光

##### 4.1.6.1. 露光工程

大型マスクアライメント装置( 図 )に転写させたいマスク・パターンを取り付ける。この露光装置はマスク・パターンとレジストを密着させるタイプなので、ステージにプリベークが終了した基板をのせ、マスクを降ろし基板上のレジストと密着させる。密着させる時の目安は、マスクを基板に近づけていくとレ

ジストに接触した時にレジストに変化が見られる。そこから微調節ネジを軽くつまんで 1/4 ( 6000 [ rpm ] で塗布したもの、3000 [ rpm ] のものは 1/2 ) 程度ゆっくり回転させていくと、基板と接触して少し抵抗が増すのでその時点で止める。マスク・パターンによっては上から見てもレジストの状態が見えないものもあるので、できれば他のマスクで接触した時の感触を覚えておくといよい。密着後所定の時間で露光し、次の工程に移る。( マスク・パターン、基板などはそれぞれスイッチがあり、順次真空ポンプによる吸着で固定していく。) マスクと基板のパターンとの位置合わせが必要な時は、位置合わせ用のパターンを合わせて 2 個所以上がきちんと重なっているようにする。

##### 4.1.6.2. 注意事項

マスクを密着させる際にあまり強く密着させてしまうと、マスクを傷つけてしまうので注意して行うこと\*。逆に密着が弱すぎるとパターンがきれいに転写されない。

露光時間を長くしていくと、パターンのエッジが崩れやすくなるので、あまり時間を長くするのは避けた方がよいと思われる。

#### 4.1.7. 現像

##### 4.1.7.1. 現像工程

露光処理後、現像液に所定の時間だけ浸け、流水( 純水 )にてリンス処理を 30[ sec ] 間行う。現像液からリンス処理へ移る際に時間がかかると、その分だけ現像が進んでしまうので、できるだけ時間がかからないように、素早く流水に浸けるようにする。現像液に浸ける時にレジストが塗布された面を上にしておくと、レジストが溶

---

\* マスクにはパターンを金属で作っているものと金属以外のものがあり、金属以外のものはマスク・パターンが傷つきやすいので、さらに注意して密着を行うこと。

けている様子が見えるので、所定の時間できれいにパターンがでない場合には、露光部分が溶けきったと思われるところで現像を終わらしてみると良い。

現像は長くしすぎてしまうと、パターンが崩れたりして失敗に終わってしまうので、現像を短めにしてパターンを顕微鏡で確認し、現像できていないようであれば、また現像液に少しだけ（レジストの溶け方によるが1 [ sec ] 前後）浸けて現像することもできる。しかし、この方法では顕微鏡のランプなどで、レジストが露光されてしまうので、残すパターンのところも溶けていると考えられるので、レジストの膜厚や表面の状態は悪くても構わないという実験でないと思えない。

#### 4.1.7.2. 現像時間

現像時間が長くなるにつれて、現像後のレジストの厚さが徐々に薄くなり、パターンのエッジもギザギザになりやすいので、あまり長い現像をしない方が良いと思われる。今回の実験では、露光後焼き締め（PEB）を行わないでリソグラフィー工程を進めた。行った場合と行わなかった場合で、あまり顕著な変化が見られなかったためであるが、行った場合はレジストが少し変化しているため、現像時間が変化する可能性があるので注意して行うこと。

#### 4.1.8. ポストバーク

##### 4.1.8.1. ポストバーク

リンス処理後、温風循環乾燥機（120℃，5 [ min ]）で現像後の焼き締めを行う。残存する現像液やリンス液を除去するとともに、レジスト膜の密着性と次工程のエッチング耐性を向上させるための処理になる。

##### 4.1.8.2. ポストバークの温度

ポストバーク時の温度、時間などを変化させてエッチング処理を行ってみた。温度は160℃，時間は30 [ min ] まで条件を上げてみたが、今回のエッチング処理に対してはほとんど変化はみられなかったため、エッチングに対しては初期の条件で問題はないと思われる。

#### 4.1.9. 加工工程

ポストバーク後の次工程、エッチング、イオン注入、リフトオフなどについては実験不足もあり、それぞれの処理でレジストにどのような影響がでるのかはまだよく分かっていない。例えばエッチングではレジストがはがれてしまうということもあり、さらに検討が必要だと思う。

#### 4.1.10. レジスト除去

レジスト除去には剥離液に浸ける。ほとんどの場合は浸けたら数秒でレジストは剥離される。もし、なかなか剥離されない場合は剥離液の温度を 80 ぐらいまで上げてみる。温度を上げることで剥離性能が向上するので試してみるとよい。

#### 4.2. マスク・パターンの設計

今回の実験ではエッチング処理のためのマスク・パターン、エッチングを行った基板に電極をつけるためのマスク・パターンがあり、電極用のレジスト・パターンを作るには基板のエッチングされたパターンとマスク・パターンの位置合わせをする必要がある。今回の実験では位置合わせ用に十字型のパターンをつけて設計した。電極用のマスクとエッチング用のマスクに同じ十字型のパターンをつけており、電極用のマスクは電極部分と十字型の部分しか光が通らなくなってしまった。そのため、位置合わせの時に下の基板のパターンが見づらく位置が合わせにくくて、十字がきちんと重なったかどうか解りづらいマスクになってしまった。

マスクを設計する時には、位置合わせの時のことも考えて空いているスペースを作ったりした方が良いだろう。

### 5. おわりに

本論文第 2 章ではリソグラフィーとは何かということから各工程の仕組みや役割を挙げ、各工程における注意事項などを挙げた。第 3 章では本学の実験装置を用いて実際に実験を行ない、その時の実験手順、回転数や露光時間・現像時間などの変化によるパターンの状態を明らかにすることができた。そして、各実験条件での結果をグラフなどで表わし、カタログなどに示されているデータと傾向が一致していることを明らかにすることができた。エッチングやリフトオフなどに対してはまだ、レジストが剥がれてしまうなどの課題が残っており、今後も各工程の検討を行なう必要がある。第 4 章では実際に実験して気がついた点などを踏まえて、詳しい実験手順や各工程での注意事項を挙げた。今回の実験では主にコーター回転数 6000 [ rpm ], 露光時間 10 [ s ], 現像時間 10 [ s ] という条件で実験を行ってきた。パターンが小さくなるほどレジストの膜厚は薄いものが必要であるが、この条件で 2 [  $\mu\text{m}$  ] 程度のパターンは十分対応できることを明らかにすることができた。

フォトリソグラフィーは半導体デバイスを製作するには必要な工程であり、本学で行われている研究などでも必要とするものが多くあり、少しでも本論文が作業をする時の参考になれば幸いである。

## 謝辞

本研究を行なうにあたり、懇切丁寧な御指導御鞭撻を賜りました高知工科大学 電子・光システム工学科 神戸宏教授に厚く御礼申し上げます。

研究に関して御助言を頂きました高知工科大学 電子・光システム工学科の教授，助教授，講師の方々に心より感謝致します。

実験に御協力頂きました加瀬川亮氏，大西健一氏，野中英治氏，住友卓氏，森澤桐彦氏に心より感謝致します。

## 参考資料

菊地 正典：“入門ビジュアルテクノロジー 半導体のすべて”，日本実業出版社（1998 10）

徳山 巍：“集積回路プロセス技術シリーズ 半導体ドライエッチング技術”，産業図書（1992 10）

曾根 純一：“シリーズ 物性物理の新展開 ナノ構造作製技術の基礎”，丸善（1996 11）

高分子学会，野々垣 三郎：“高分子新素材 one Point 3 微細加工とレジスト”，共立出版（1987 11）



## 付録 2

### 使用器具・薬品

Constant Temperature Oven ( 温風循環乾燥機 )

DN400 YAMATO SCIENTIC CO.,LTD

ULTRASONIC CLEANER ( 超音波発振機 )

W-211 No.902110403 本多電子 株式会社

MIKASA SPINCOATER

IH-DX2 No2543BC802 MIKASA CO.,LTD.

大型マスクアライメント装置

M-2L 型 No.807 ミカサ株式会社

MERCURY LAMP POWER SUPPLY

TYPE HB-25105AA OPI No.912234 USHIO

光学顕微鏡

ECLIPSE ME600 No.830063 Nikon

デジタルカメラ

E950 No.234086 Nikon

表面粗さ形状測定機

サーフコム 130A SERIAL-KA1327LR 株式会社 東京精密

標準 g 線ポジ型フォトレジスト

OFPR-800 粘度 ( 20cP ) 東京応化工業

高性能有機アルカリ現像液

NMD-W ( 2.38% ) 東京応化工業

ポジ型フォトレジスト用剥離液

剥離液-104 東京応化工業