

学士論文

超微小き裂
創生技術の開発

1p ~ 47p 完

平成 12 年 2 月 4 日 提出

指導教官 酒井 信介 教授

80221 柴田 麻友子

目次

第 1 章	序論	6
1.1	研究の背景	7
1.1.1	従来の材料強度の研究	7
1.1.2	本研究の目的	7
1.1.3	極細線描画技術	8
1.2	本論文の目的	8
第 2 章	理論	10
2.1	き裂	11
2.2	エッチング技術	12
2.2.1	ウエットエッチング	12
2.2.2	ドライエッチング	14
第 3 章	実験方法	17
3.1	実験手順	18
3.2	観察手順	20
3.2.1	蒸着	20
3.3	用いた機械の用語	20
第 4 章	実験結果	24
4.1	エッチング深さの時間依存性	25
4.2	観察結果	26
4.3	線幅	27
第 5 章	考察	29

目次	3
5.1 照射時間とエッチングの深さとの関係	30
5.2 線幅	31
5.3 金属の蒸着	31
第 6 章 結論	33
6.1 結論	34
.1 ECR-200ER	36
.1.1 概要	36
.1.2 イオン銃の原理	36
.1.3 仕様	38
.2 スピンナー	40
.2.1 概要及び機能	40
.3 ホットプレート	40
あとがき	43
著者近影	46

図目次

2.1	き裂形状	12
2.2	楕円孔およびき裂の先端近傍の応力分布	13
2.3	等方性エッチング	14
2.4	異方性エッチング	15
3.1	エッチング手順	19
3.2	描画パターン	20
3.3	手順フローチャート	22
3.4	スパッタリング	23
3.5	薄膜形成	23
4.1	深さの時間変化	25
4.2	レジスト塗布状態 (2000 倍)	26
4.3	レジスト塗布状態 (20000 倍)	27
4.4	シリコンウエハ上面	28
4.5	シリコンウエハ側面	28
5.1	深さによる影響	30
5.2	リフトオフ法	32
.1	ionbeamA	37
.2	ionbeamB	37
.3	ionbeamC	38
.4	ionbeamD	38
.5	イオンエッチング装置	41
.6	スピナー	41
.7	ホットプレート	42

图目次

5

著者近影	46
.8 著者近影	46

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

1.1.1 従来の材料強度の研究

これまでの材料強度の研究は、材料に対する破壊試験を実施した後に破断面の顕微鏡観察等によりき裂の挙動を推測し、特性化する事が行われてきた。つまり、き裂を能動的に作成することはせず、破壊の結果として生じたき裂に対して破壊試験をすることでき裂形状と破壊現象との関係を解明するという、受動的な立場が取られてきた。近年の破壊研究がよりミクロな領域にまでシフトしてくるに至って、ミクロき裂の評価が重要となってきたが、このような基本的な研究姿勢は変わっておらず、また未解明の部分が多いため、高精度の解析にまでは至っていないケースが多い。

これまでのミクロき裂の創成方法の例としては、放電加工によるエッチングがあげられる。この場合、ワイヤの太さの限界により、き裂幅は $0.02 \sim 0.35 \text{ mm}$ である。また、機械加工を施すため、残留応力が残ってしまうことになり、破壊試験を行うにあたって、これは好ましくない。そして、ミクロな破壊現象の解明を行なうには、更に小さなき裂を作る技術が必要である。

1.1.2 本研究の目的

本研究の目的を以下に挙げる。本研究は、材料強度研究のミクロ強度解明の為に避けて通ることのできない、ミクロき裂形状創生のために、電子機器の分野で急速に技術革新の進んだ電子描画技術を導入するものであり、分野を越えた技術の移転により問題解決を図る。独創的な点としては、これまでミクロ破壊の研究が破壊面に作成されたミクロき裂について検討するという受動的立場からの研究が専ら行なわれてきたのに対して、き裂形状及び配置を随意に設計して創生する技術を開発することにより、能動的立場からの研究方式を新たに確立することである。これにより、自然破壊現象によっては決して作成できないミクロき裂形状や配置が可能になり、ミクロ破壊現象について提案されている破壊モデルの精度良い検証が可能になる。例えばミクロき裂の方位と荷重負荷方向の関係を高精度にコントロールできることになるので、通常の破面では観察が困難な単一き裂で他のき裂からの干渉を受けない条件を実現でき、理想状態でのミクロき裂強度評価が可能になる。また、き裂方位にランダム性を与える子とによるミクロ強度とマクロ強度との相関性について調べることが可能となる。

近年、国内外を問わず、ミクロ領域の破壊研究は盛んに行なわれるようになってき

1.2. 本論文の目的

た。その中で、疲労強度や降伏強度などが、マクロ強度よりもはるかに大きな値になるなどの興味ある結果が報告されている。これまでは、まずミクロ、ナノ領域での強度実験を行なう技術そのものが困難なことが多いことから、実験技術上の取り組みが比較的多く見受けられる。例えば、マイクロアクチュエータに関しても様々な試みが行なわれており、流体の圧力を利用するもの、厚電素子を用いるもの、原子間力を用いるものなどが報告されている。実験技術上の進展は目覚ましいものがあり、かつては困難と思われていたミクロサイズの実験も可能になりつつある。これまでの段階では、強度的には必ずしもき裂に着目したものではなく、弾性係数、降伏強さ、疲労強さ等の観点から行っている。今後次の段階としては、ミクロき裂の挙動の解析に進むことは避けて通ることはできないので、高精度のミクロき裂形状創生技術の重要性は大きいといえる。本研究ではこのようにミクロ強度研究領域で将来的に必要となる技術を先駆的に開発しておくという位置付けをあたえることができる。

1.1.3 極細線描画技術

加工手法には大きく分けて、塑性加工、切削加工、砥粒加工などの機械的加工、それに物理加工、化学加工等の特殊加工がある。しかし、古典的な機械加工は、刃物や型により力学的な変形、破壊、ひずみを加工物に対して与えてしまう。しかし、ミクロなき裂を作成する場合、マクロなものとは比べて、き裂先端の曲率半径、及び加工の結果生じる残留応力については特に注意を払う必要があるため、これらは適切でない。微小なものを微量だけ加工するためには、原子、分子単位で加工物に作用する工具が必要となる。すなわち、マイクロマシンやマイクロセンサ等のマイクロ化には、どうしても半導体で用いられているフォトリソグラフィ、プラズマ加工、エネルギービーム加工などのマイクロ加工技術が必要になってくる。そこで、本研究では反応性イオンビームエッチングを用いて微細加工を行う。これにより、原子レベルでのマイクロ加工を行うため、残留応力等が残る心配はなく、また従来の機械加工と比べてもはるかに微小な加工をすることができる。

1.2 本論文の目的

本論文の目的を以下に挙げる。

1. 本論文を通して、き裂創生技術の為に必要な手法を確立する。具体的には、

- (a) レジストと呼ばれるエッチング耐性のある感光性樹脂を基板に塗布し、成膜する。
- (b) 描画装置を用いてレジストに電子線を照射し、パターン状に感光させる。
- (c) 現像液を用いて不要なレジストを除去する。
- (d) エッチングを行ない、基板にパターンを形成する。

といった一連の作業に必要な実験装置、実験手法等を含む実験環境を整備する事である。

2. 実際にイオンエッチングを行なう事により、イオンエッチングに対する基礎的検討を行なう。電子イオン銃を用い、シリコンウエハに対してエッチングをする際に、様々に条件を変化させたときのウエハの状況を観察し、これらの関係について考察をおこなう。具体的には、シリコンウエハに対して、ビーム照射条件を様々に変化させ、SEM で形状を観察することにより深さなどの形状がどの程度正確に制御できるかを調べる。また、エッチング条件と深さの関係についても調べる。また、レジストにパターンである直線を描画する際に、線幅の違うものを用意して、エッチング深さとパターンの線幅との関係についても調べる。

第 2 章

理論

2.1 き裂

き裂とは

き裂をその発生原因について分類すると、疲労き裂、遅れ破壊によるき裂、応力腐食割れおよび溶接欠陥等に分けられる。また、これらのき裂を形状で分類すると、表面き裂、内部き裂および貫通き裂に分けられる。一方、構造物への有害度と言う点からき裂を分類すれば、次に示すような3通りに分類できる。

1. 許容欠陥：放置していても構造物の安全性上何ら問題の無い欠陥である。
2. 条件付許容欠陥：直ちに破壊事故の原因とはならないものの適当な時期に補修する必要がある欠陥。
3. 危険な欠陥：直ちに使用を停止して補修することが必要な欠陥。

構造物を安全でかつ経済的に製作、使用するためには、検出された欠陥を破壊力学的に評価して、許容できない欠陥のみを補修するのが合理的である。

切り欠きによる応力集中

一般に、切り欠きのある部材に外力が作用するとき、切り欠き底付近に大きな応力を生じることが、応力集中としてよく知られている。応力集中の程度は、切り欠きが深くなるほど、また、切り欠き底の曲率半径 ρ が小さくなるほど著しくなる。切り欠きの先端半径が限りなく小さくなったものが、ここで扱う理想的なクラックである。そこで、き裂先端の曲率半径をどの程度にすればよいかについて検証した。

図 2.1 のような、大きな板を垂直に貫通する楕円孔について考える。この楕円孔の長軸及び短軸の長さを、それぞれ $2a$ 、 $2b$ とすると、切り欠き先端半径は $\rho = \frac{b^2}{a}$ であたえられる。また、先端からの距離を r とする。

図 2.2 は x 軸にき裂先端からの距離をとり、 y 軸に x 軸上の応力 $(\sigma_y)_{y=0}$ の、孔より十分離れたところでの長軸に垂直な方向の一樣応力 σ_y^∞ に対する割合をとった時の結果である。 ρ を $0 \sim 0.1$ まで変化させている。用いた数式は、

$$\frac{(\sigma_y)_{y=0}}{\sigma_y^\infty} = \sqrt{\frac{a}{2r + \rho}} \left(1 + \frac{\rho}{2r + \rho} \right) + \left(1 - \frac{\rho}{2r + \rho} \right) \quad (2.1)$$

$$(0 \leq r \ll a, \rho \ll a)$$

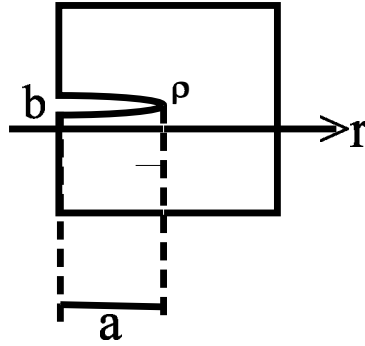


図 2.1: き裂形状

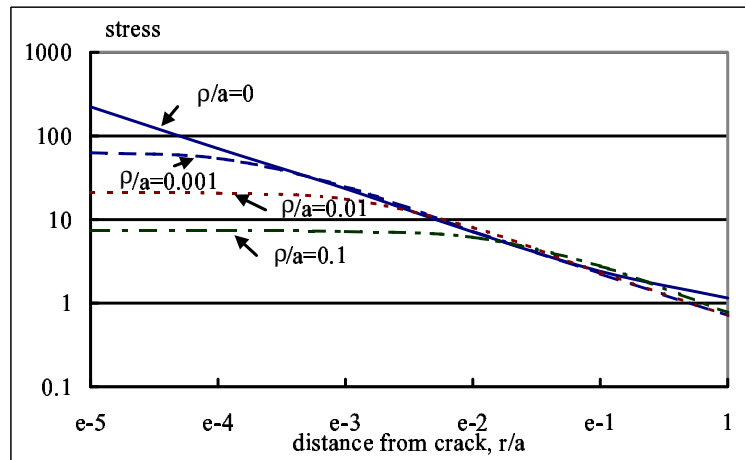


図 2.2: 楕円孔およびき裂の先端近傍の応力分布

$$\frac{(\sigma_y)_{y=0}}{\sigma_y^\infty} = \frac{|x|}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \frac{a + r}{\sqrt{r(2a + r)}} \quad (2.2)$$

$$(|x| > a, y = 0)$$

図 2.1より、 ρ/a が小さいほど破壊の検証をしたときに理想き裂に近い結果が得られるとわかる。これより、 ρ/a が 0.001 程度のき裂であれば、切欠き付近の状態を良く表していると考えられる。本研究においては、シリコンウエハに対してイオンエッチングによって溝の形成を行なうが、この溝の幅が $3\mu\text{m}$ である時に、 $\rho = \frac{b^2}{a}$ より 2.25mm の深さにエッチングする事ができればよいということになる。しかし、切り欠き底からやや離れた所における応力状態が検証できれば良い、ということであるならば、 ρ/a が 0.1 程度のき裂を生成しても、検証できるということになる。これは、溝の幅が $3\mu\text{m}$ で

ある時に、 $22.5\mu\text{m}$ の深さにエッチングできた場合、切り欠き底からの距離が $0.225\mu\text{m}$ 以上離れている部分については、精度良い検証ができるということになる。

2.2 エッチング技術

2.2.1 ウエットエッチング

酸、アルカリ等の化学溶液のなかでエッチングを行うものである。また、ウエットエッチングは、すべて化学反応によって引き起こされる。必要となる寸法が数十から数百ミクロンに及ぶものについて多く用いられる。

金属のエッチング

一般にウエットエッチングはドライエッチングに比べて反応速度が速いので、比較的加工量の大きい用途に適用される。例えば、金属の薄板から複雑なパターンの輪郭を持つ部品を加工するのに、酸によるウエットエッチングが使われる。これらの加工では、材料が除去されるのは板厚の方向だけでなく、表面に形成したマスクの下部にも加工が及ぶ。これをサイドエッチング、あるいはアンダカットと呼んでいる。この結果、加工断面は、マスクのパターン通りに板面に垂直に加工することはできない。これを等方性エッチングと呼ぶ。エッチングマスクのパターンを形成する際には、サイドエッチングを見込むと共に断面形状にも考慮を払う必要がある。このようなことから、一般に大面積の金属薄板を加工の対象とするエッチングでは加工精度を $10\mu\text{m}$ よりも高めることは、かなりむずかしい。

等方性

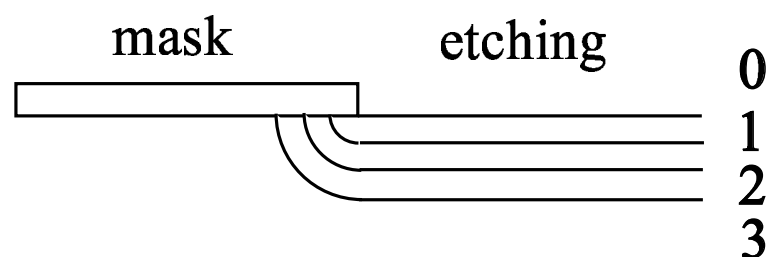


図 2.3: 等方性エッチング

等方性エッチングとはエッチングが縦、横どちらの方向にも均一に時間と共に進行するものであり、エッチング形状は図 2.3 のようになる。一般にウエットエッチングは等方性のものが多い。等方性エッチングの起きる状況を考えると、エッチングに関わるイオンが溶媒分子とつねに衝突するため、その方向がランダムである。また、エネルギー的にも溶媒の温度の熱エネルギーしか持たないために化学反応によってのみ等方性にエッチングが起きている。

選択性

選択性エッチングとは特定の材料だけをエッチングし他の材料はエッチングしない事である。選択性の高いエッチングは、化学的な反応によってエッチングが行われる場合に多い。

2.2.2 ドライエッチング

真空中でイオンによる物理反応もしくは化学反応を用いてエッチングを行うものである。反応生成物は飛散するか、気化して排気される。精密機器部品のマイクロ加工には、従来ウエットエッチングが用いられてきた。しかし、部品の微細化にともない、ドライエッチングが用いられるケースが増えてきている。

異方性

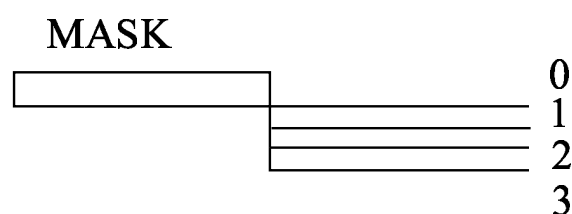


図 2.4: 異方性エッチング

異方性エッチングとは、エッチングが一般に縦方向にのみ進み、横方向には基本的にエッチングが進まない、もしくは進み具合の遅いものを言い、エッチング形状は図2.4のようになる。素子の微細化とともに異方性エッチングの必要性は大きくなってきている。なぜなら、図の様な状態の場合、エッチングが進むに従い、保護膜の下領域が狭くなり、2の状態以降では保護膜の下 Si がなくなってしまうからである。異方性エッチングを実現するには二つの基本的な方法がある。一つの方法は図に示すように、エッチングが行われる部分での真空度を高くしてイオンの散乱を少なくし、イオンを加速して試料に垂直に入射させ、垂直方向のエッチングを増大させる。またさらに試料の温度を低下させ、跳ね返るイオンのエネルギーを下げて、そのイオンによる横方向のエッチングを少なくする方法である。二つめの方法は図に示すようにエッチングの進行と同時に側壁に保護膜を堆積し、これで横方向のエッチングを防止して結果的に異方性を出現させる方法である。現実にはほとんどの場合第一の異方性エッチングが反応性エッチング (RIE, reactive ion etching) や、ECR (electron cyclotron resonance)、プラズマエッチング等が広範に用いられている。また異方性エッチングでは横方向のエッチングが抑圧されるため、影になった部分のエッチングが行われなため回り込んで堆積した材料などはエッチングされにくいので注意を要する。

非選択性

非選択性エッチングとは材料に関係なく時間に応じてエッチングが行われる事であり、図のような構造をアルゴンイオンでスパッタした様な状態で、時間の経過とともに材料に関わらずエッチングが進行する。ただし、現実には材料によってある程度エッチング速度の変化はあるのが通常であり、選択比に注意する必要がある。またこの場合は、エッチングを阻止するために設けられたマスク材料 (ここではレジスト) もエッチングされる事に注意が必要である。このようなエッチングは物理的な反応でエッチングが行われる場合に多い。

イオンビーム・スパッタエッチング

本研究で用いる加工法である。スパッタエッチング法とはアルゴンなどの不活性ガスのイオン衝撃を工具として用いる除去加工である。イオン源室は 10^{-1} Pa 程度の高真空となっており、ここにアルゴンガスを導入し、熱フィラメントから出た電子を利用してアルゴンガスをイオン化する。イオン源周辺の磁場コイルは、電子にらせん運

動をさせ、壁面に拡散していくのを押さえ、原子との衝突確率を高くするためのものである。イオン源室の下部に3枚の多孔電極が設置されており、イオン源側の電極はイオン源と同じ電位で、真中は正電位でイオンを絞る効果があり、孔を通りやすくする。また、外側の電極は負電位でイオンを引き出すためにある。この引き出し電極(加速電極)でイオンに数十 eV から数 keV のエネルギーを与え、加工面表面に衝突させてその表面原子を弾き出す。このようにして引き出したイオンビームは円筒の平行ビームとなる。プロセスチャンバーは $10^{-2} \sim 10^{-4}$ Pa に保たれる。この真空度はポンプの排気容量と多孔電極のコンダクタンスによって決まる。また、加工物のチャージアップを防止するために、引き出し電極と加工物の間に電子中和用のフィラメントを用いる場合もある。

原子単位の除去が可能であり、また物理的加工であるためにあらゆる原子に対応できる。それにイオンビームが高い方向性を持っているために図に示すような異方性エッチングが可能である。しかし、イオンビームによる物理加工では加工速度が遅く、マスクとの選択性が低く、それにエネルギーが高くなると加工物にダメージを与えるという欠点もある。このため低エネルギーでも大電流イオンが得られる大口径イオン源が必要である。

第 3 章

実験方法

3.1 実験手順

実験の手順を以下に示す。図 3.3 は手順の大まかなフローチャートであり、図 3.1 は手順の模式図である。

1. レジストを Si に塗布する。レジストとしては ZP520 を使用した。このレジストは、電子線を照射した部分がエッチングされるというポジ型のレジストのなかでは最も汎用性の高いものであり、特に細線を描きたい場合に適している物である。ただし、使用する際に、レジスト塗布時、及び現像時における温度管理を正確に行なう必要があり、取り扱いにはやや注意を要する。また、このレジストは粘性の高い液体である。Si をスピナーの中央に載せ、スポイトでレジストを Si の中央に適量たらし、スピナーを回転させる。

- 1st 500rpm 8sec
- 2nd 2000rpm 99sec

2 段階に回転数を変化させることで、より均一にレジストを塗布することができる。

2. ホットプレートにて加熱する。170 度、2 分。これによって、レジストを溶かしている要媒のみを蒸発させてしまう。ただし、レジストは高分子材料であるため、220 度を越える温度で加熱すると変質してしまうため注意が必要である。
3. 加熱後、ステンレスの板上に載せることにより、急冷却をする。これは、加熱したままの状態では放置すると、レジストが徐々に冷えてゆき、その過程でレジストに対してひび割れが起きてしまい、レジストとして使用できなくなってしまうので、これを防ぐためである。

以上の手順によって、約 $0.5\mu\text{m}$ の厚さにレジストを塗布することができる。重

ね塗りをする場合は上の手順を繰り返す。今回は、3 度重ね塗りをしたため、レジストの厚さは約 $1.5\mu\text{m}$ となった。

4. 電子描画装置 ELS-3700 を用いて描画を行う。この装置は、高輝度電子銃および高速、高分解能の照射系により、サブミクロンの微細パターンを長時間安定して描画できるのが特徴である。今回は、線幅 $3\mu\text{m}$ の直線を、直線と直線との間隔

を $10\mu m$ ずつとって、5 本引いたものと、線幅 $1\mu m$ の直線を、直線と直線との間隔を $10\mu m$ ずつとって、5 本引いたものを作成した。図 3.3 のようなパターンとなった。

5. 現像を行う。液温約 22 度の O-キシレンに、描画を施した面を下にして約 5 分間つける。現像を行う前に、レジストがきちんと描画されていることを確認する必要がある。
6. ECR-200ER によるエッチングを開始する。Si ウエハ上の、電子銃によってビームが照射された部分がエッチングされる。
7. アセトンで洗浄することにより、レジストを剥離する。

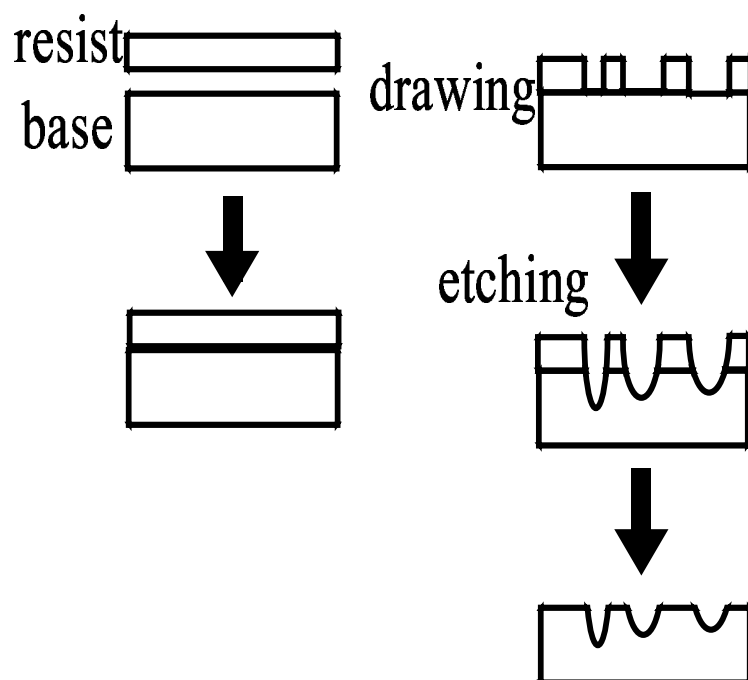


図 3.1: エッチング手順

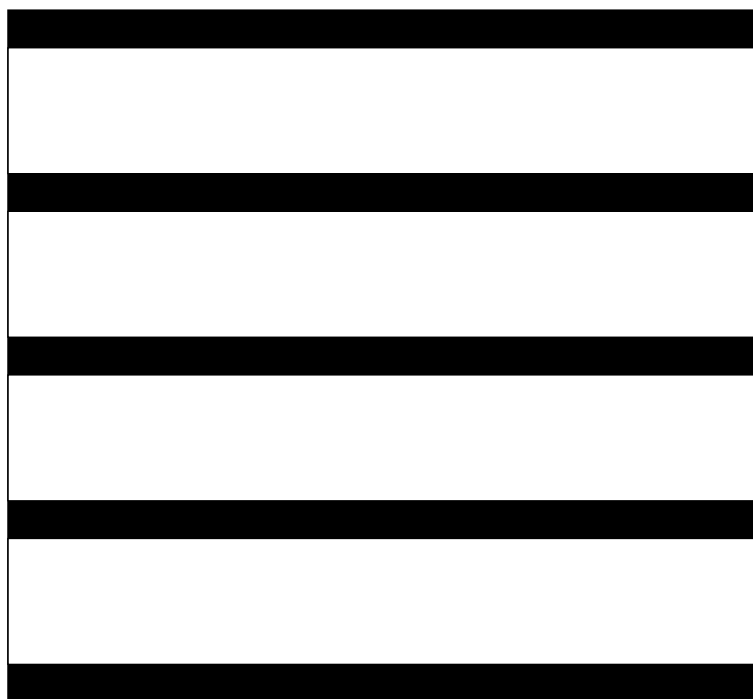


図 3.2: 描画パターン

3.2 観察手順

SEM を用いて観察をする。ここで、エッチングの終わったシリコンウエハを、そのまま観察しても、電子による雑音がありすぎてうまく観察できない。また、電子がウエハに当たること、ウエハは少しずつ損傷していく。これらを防ぐために、ウエハに金を蒸着させたのちに観察する。

3.2.1 蒸着

ECR-200ER をもちいる。イオンビームを少量の金に対して照射して、スパッタリングで弾き飛ばされた粒子を対抗した基板に付着させる方法である。粒子のマイグレーションを利用して結晶性が良い薄膜が形成できる。図 3.4 はスパッタリングのメカニズムの模式図であり、図 3.5 は原子レベルでの薄膜の形成される様子である。

3.3 用いた機械の用語

測定する値と、その意味については以下の通りである。

3.3. 用いた機械の用語

- 加速電圧
- イオン エミッション：イオン銃から射出されるイオンの総量
- ファラデーカップ：イオンの電流密度
- マイクロ波パワー：マイクロ波のパワー (W)
- リフレクション：マイクロ波の反射波
- ガス流量：Ar ガスの流量
- マグネットつまみ：イオン銃内のコイルに与える電流を変化させて、磁力を変化させる。
- エクストラクターつまみ：試料室内の電子がイオン銃内に流れ込むのを防ぐと同時にプラズマ内のイオンを引き出すために電極部に与える電圧を変化させる。

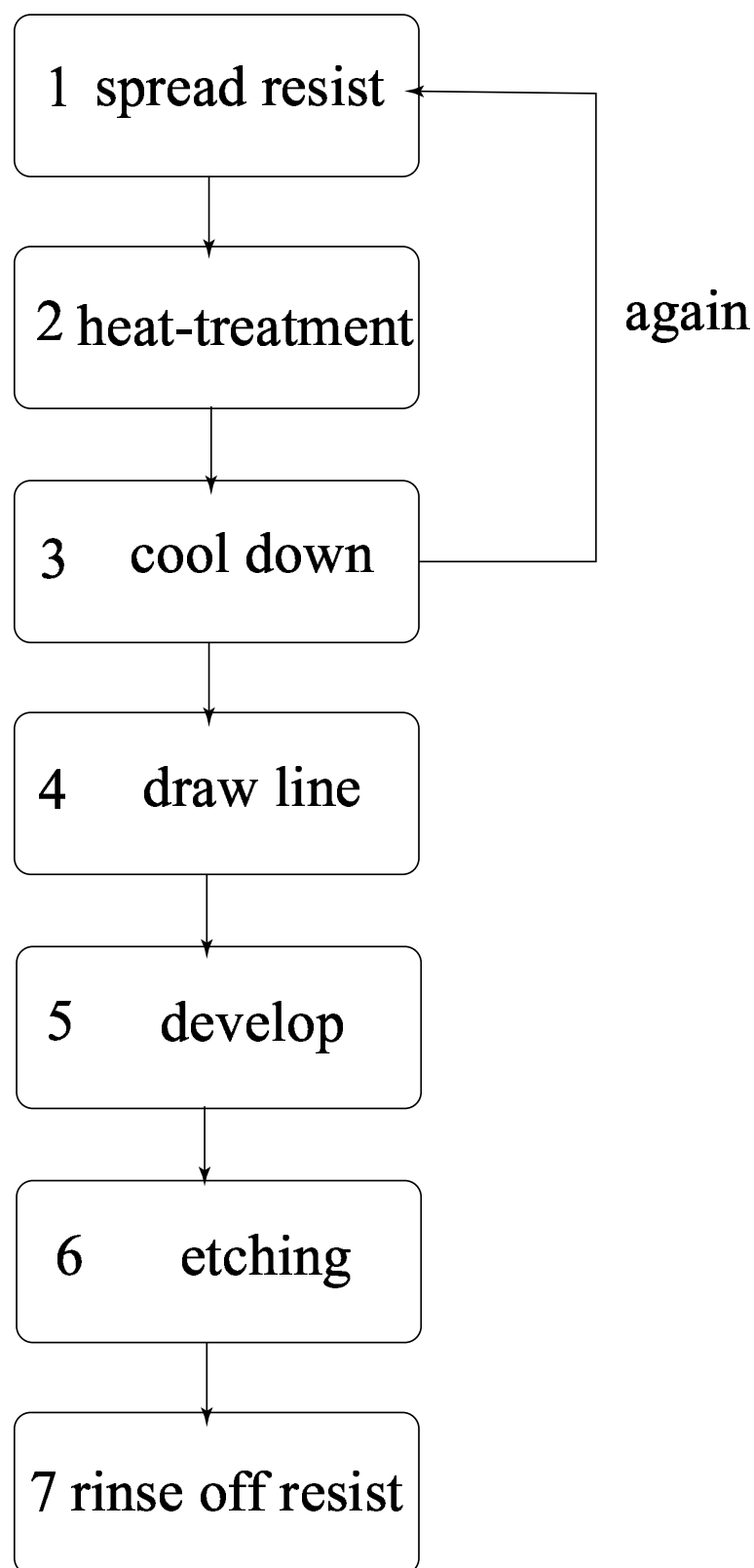


図 3.3: 手順フローチャート

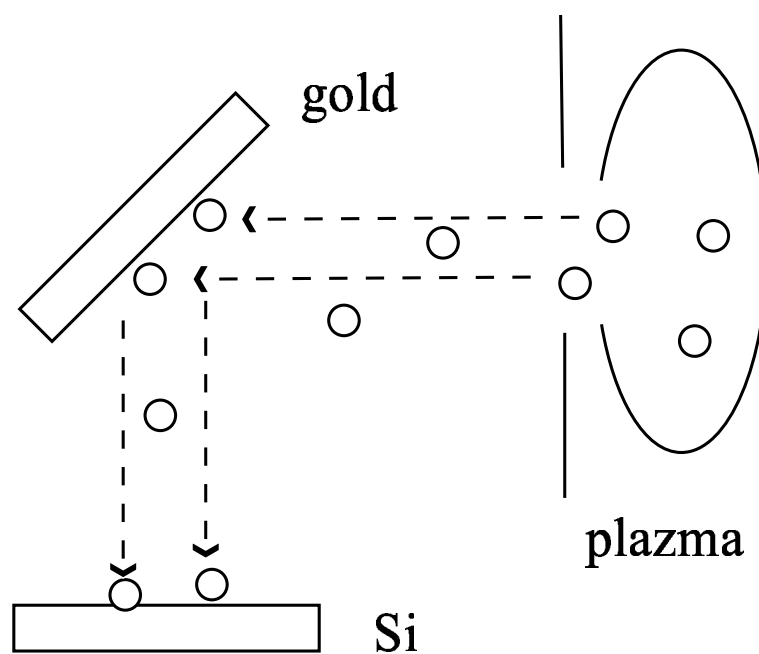


図 3.4: スパッタリング

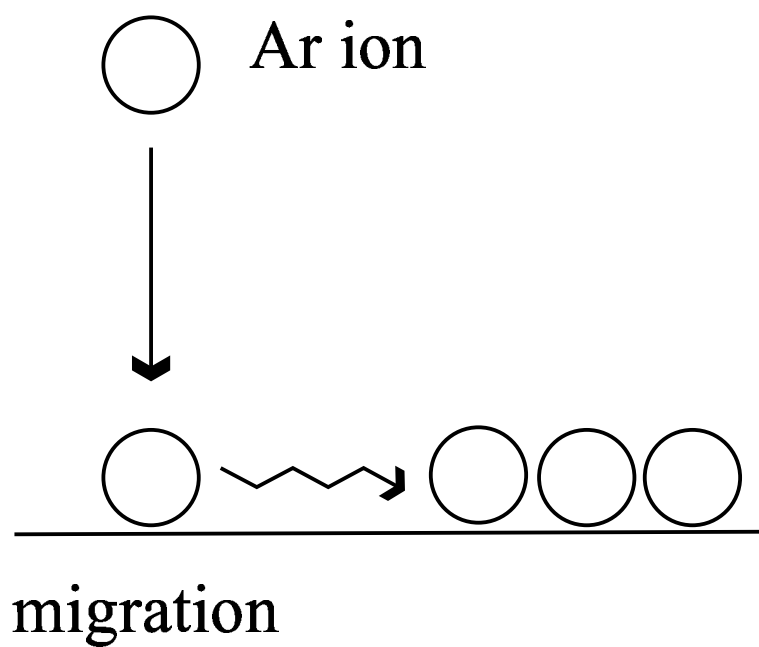


図 3.5: 薄膜形成

第 4 章

実験結果

4.1. エッチング深さの時間依存性

エッチングの際の条件と、その観察結果を示す。

エッチングの際の条件を変化させ、それに応じてウエハのエッチング面の形状がどのように変化するかを調べる。

4.1 エッチング深さの時間依存性

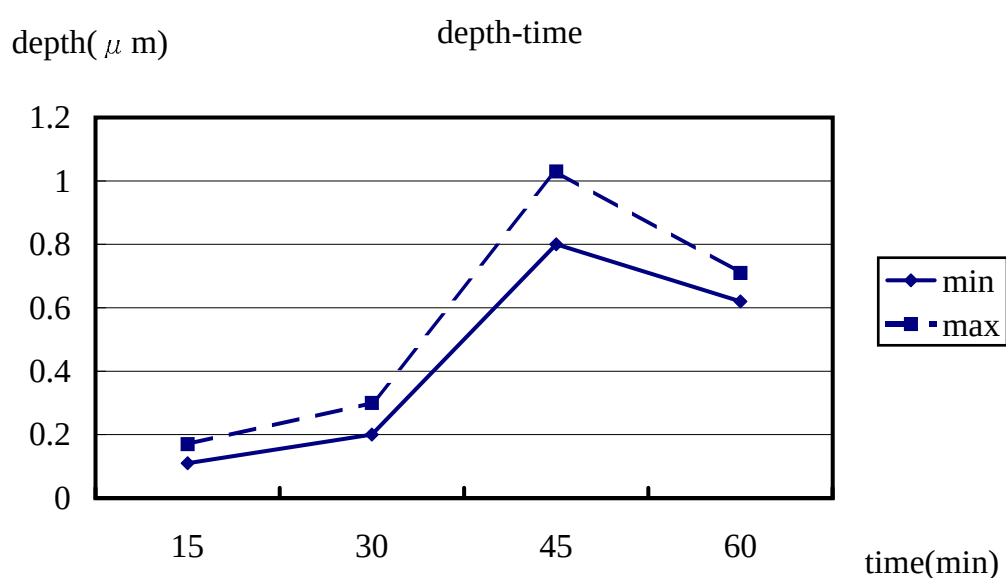


図 4.1: 深さの時間変化

イオンビーム照射時間を変化させ、これによるエッチング深さの推移を調べる。エッチング時間を15分、30分、45分、60分と変化させたときのエッチング深さを比較した。時間以外の条件はいずれも一定で、

- 加速電圧：503V
- イオン エミッション：4.2mA
- ファラデーカップ：0.5mA/cm²
- マイクロ波パワー：100W

4.2. 観察結果

- リフレクション：0.1
- ガス流量：1.00sccm
- 圧力： 1.2×10^{-2} Pa

である。このときにエッチングされた溝の深さの推移をグラフにしたものが図 4.1 である。図は、横軸にエッチング時間 (単位：分)、縦軸にエッチング深さ (単位： μm) をとり、エッチング時間と深さとの関係とを表している。ただし、エッチング深さについては、測定する場所によって値に差があるため、数か所のデータを取り、その中で最も深いものを max として点線で、最も浅いものを min として実線で表示してある。

また、溝の開口部の大きさについては、線幅が $3\mu\text{m}$ であったのに対し、いずれもほぼ $3\mu\text{m}$ のままであった。

4.2 観察結果

観察結果を以下に示す。エッチングを行う以前の、レジストを塗布した状態の写真が図 4.2及び 図 4.3 である。

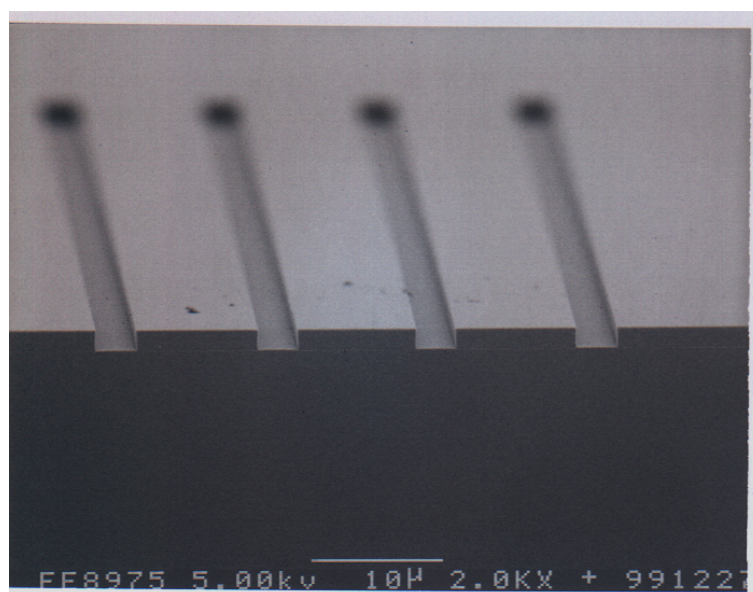


図 4.2: レジスト塗布状態 (2000 倍)

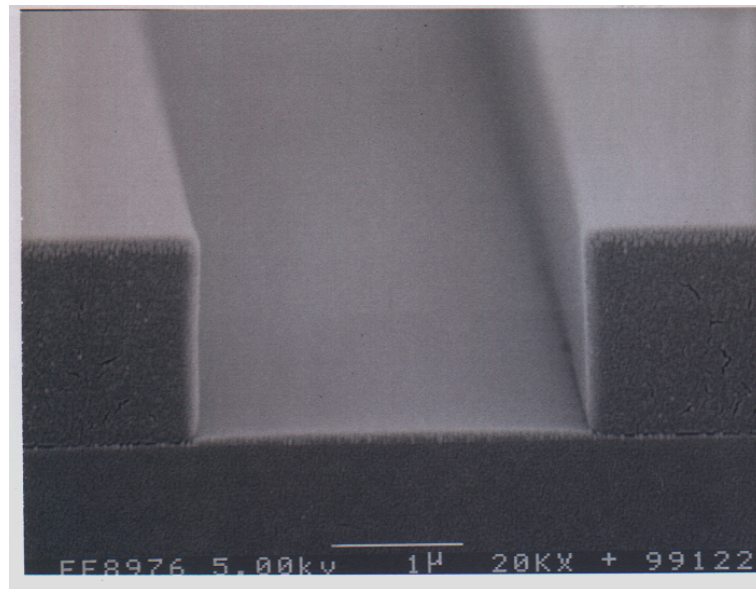


図 4.3: レジスト塗布状態 (20000 倍)

エッチングを行った後、これを上から観察したもの、及び横から観察したものを以下の図 4.4 及び図 4.5 に示す。これらはいずれも、45 分間エッチングを行った後に、金蒸着を施して観察を行ったものである。

4.3 線幅

描画線幅については $3\mu\text{m}$ のものと、 $1\mu\text{m}$ のものと作成した。しかし、 $1\mu\text{m}$ のものについては、エッチングを行い、観察をしたところ、何らかの原因によりひび割れが生じてしまい、深さを計測する事はできなかった。

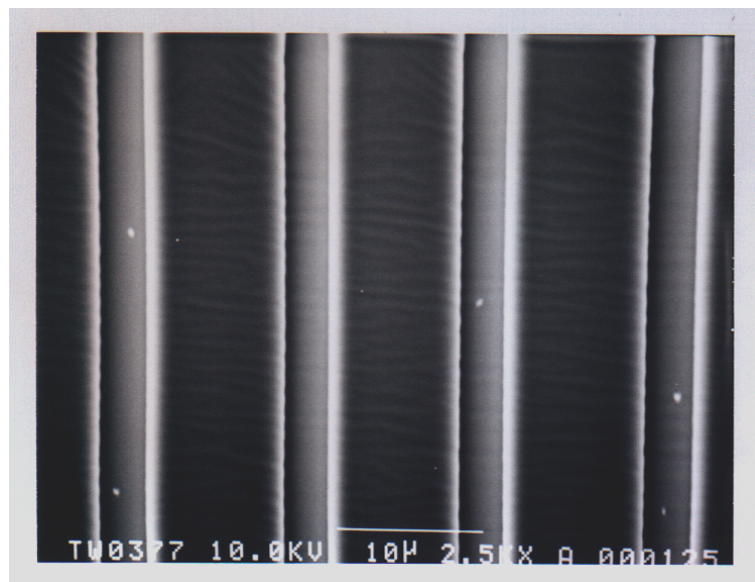


図 4.4: シリコンウエハ上面

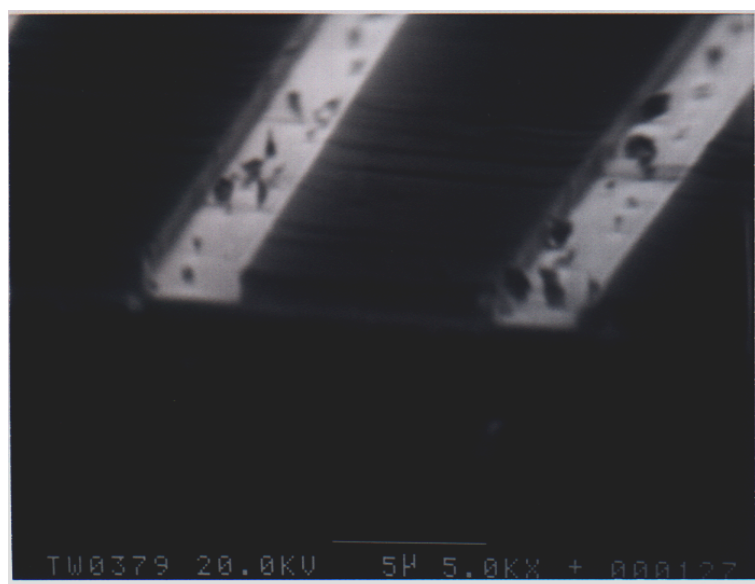


図 4.5: シリコンウエハ側面

第 5 章

考察

5.1 照射時間とエッチングの深さとの関係

基本的には、エッチング時間が長くなるほど、より深く削れるはずである。エッチング時間のみを変化させた結果を見ると、時間が長くなると、45分まではより深く削れていき、その後は浅くなっていくようである。図 5.1 におけるエッチング深さと時間との関係から、エッチングレートを計算してみる。すると、エッチング時間 15 分の場合で、 $0.01\mu\text{m}/\text{min}$ 、30 分の場合で $0.008\mu\text{m}/\text{min}$ 、45 分の場合で $0.02\mu\text{m}/\text{min}$ 、60 分の場合で $0.011\mu\text{m}/\text{min}$ となる。

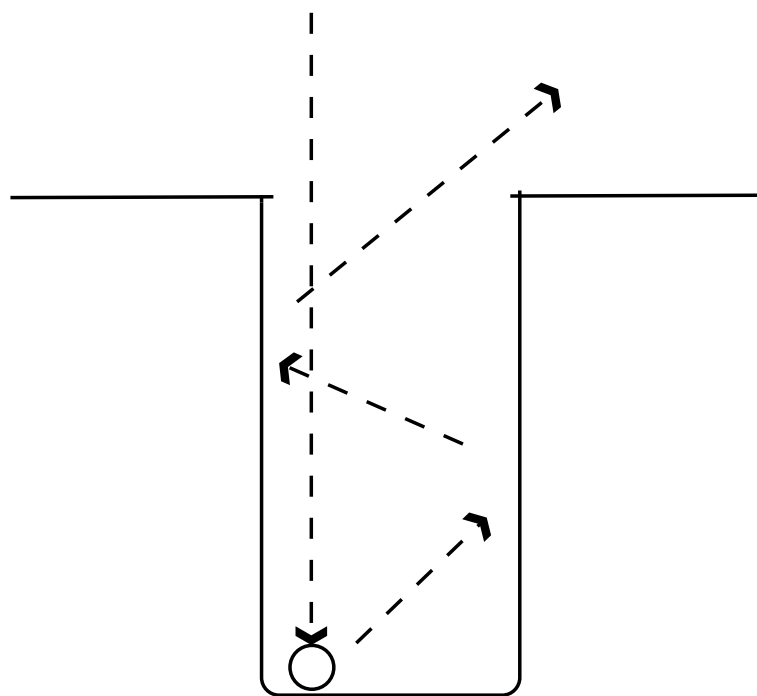


図 5.1: 深さによる影響

深さがある程度以上にならない理由としては、まず、レジストが削れてなくなってしまったことが考えられる。本研究ではアルゴンガスによるスパッタエッチングを行っているため、選択性がなく、時間の経過とともに材料に関係なくエッチングが進行する。さらに、レジストはシリコンよりも削れやすい素材であるため、レジストの膜厚は約 $1.5\mu\text{m}$ であるが、シリコンウエハはこれに比べて浅くしか削れないはずである。また、イオンビームを凹凸のある物体に向けて照射した場合、凸部によりビームがあたりやすくなる。このため、レジストが完全に剥離してしまってから、シリコンウ

エハの全面が削られていることになり、時間が経つにつれて溝は消えてしまうためと考えられる。

また、図 5.1 アスペクト比が大きくなるにつれて、イオンビームによりスパッタされて、飛散するべき原子が、溝の底面や側面に再付着する可能性が高くなるため、あまり深い溝が作成できない、ということも考えられる。

5.2 線幅

ひび割れてしまったものについては、線幅を細くする事によって、応力集中度が大きくなり、非常にひび割れやすい状態になっていたのだと思われる。

5.3 金属の蒸着

今回のエッチングで深さが大きく取れなかった理由としては、電子線レジストの耐ドライエッチング性が乏しいため、シリコンウエハが削れるよりも早くレジストが削れてなくなってしまったためである。そのため、今回の実験方法では、エッチング条件を様々に変化させても切り欠き深さの大きなき裂を作成することは困難であると考えられる。より深いき裂を作成するためには、マスク材にシリコンよりもエッチングされ難い材料を用いることが考えられる。また、マスクの厚さもより厚くすれば、より深く削れるはずである。そこで、方法としてはリフトオフ法、が考えられる (図 5.3)。イオンビームを少量の金属に対して照射して、スパッタリングで弾き飛ばされた粒子を対抗した基板に付着させる方法である。粒子のマイグレーションを利用して結晶性が良い薄膜が形成できる。また、原子レベルでの加工をしているため、均一な厚さの膜を形成することができる。

レジストをこれ以上厚塗することは、適切ではないと思われる。今回用いたレジストは液体であり、何度も重ね塗をした場合に厚さが不均一になるし、また、厚さの制御も困難になるためである。

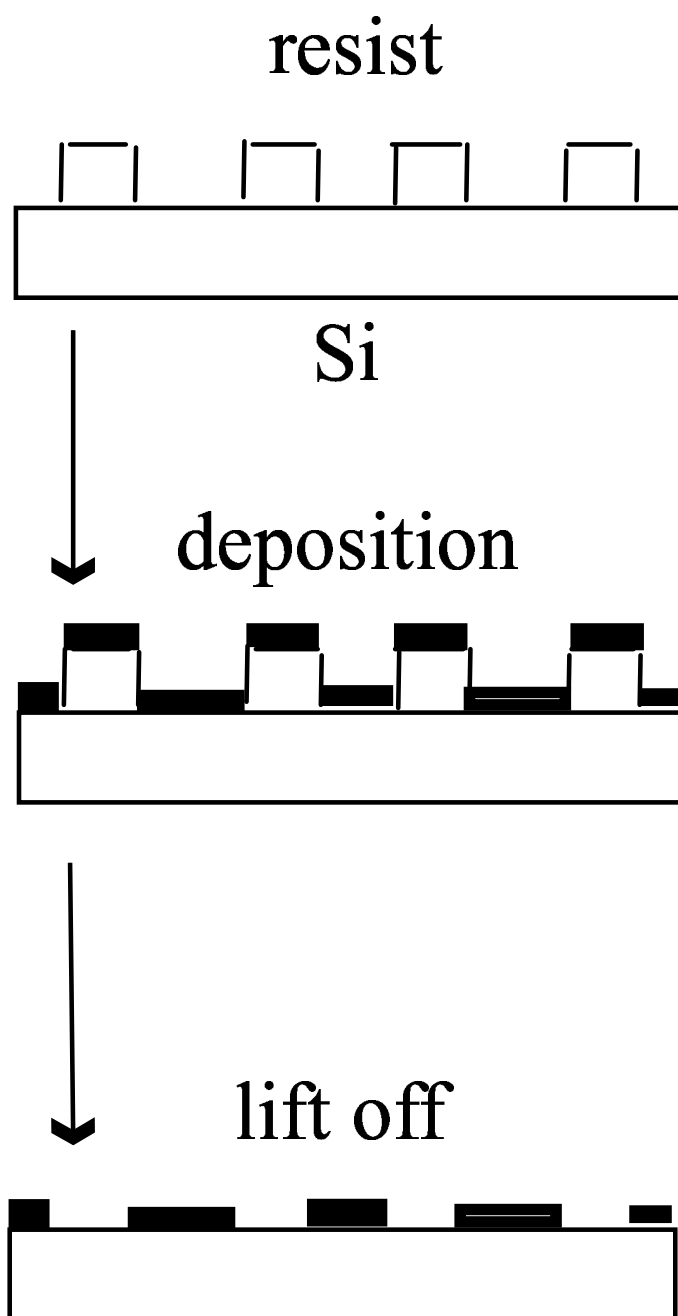


図 5.2: リフトオフ法

第 6 章

結論

6.1 結論

本論文では

1. き裂創生技術のために必要な実験環境を整備し、これについての手法を確立する。
2. イオンエッチングに対する基礎的検討を行う。

の2点について研究をおこなってきた。結論としては、

1. き裂創生のためのエッチングに必要な基本的な実験環境、手法については確立することができた。すなわち、レジストの塗布、電子描画、エッチングという全ての過程について、一通り実験が出来るということになった。
2. エッチング時間と深さの関係について調べた結果、エッチング深さは時間と共に深くなるが、レジストが完全に剥離してしまっからは再び浅くなることがわかった。また、線幅を変化させたものについては測定が出来なかった。

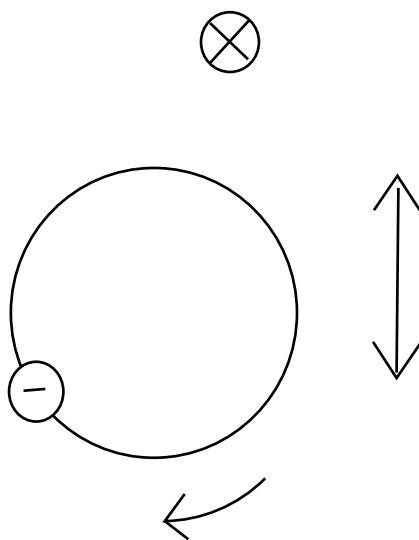
.1 ECR-200ER

.1.1 概要

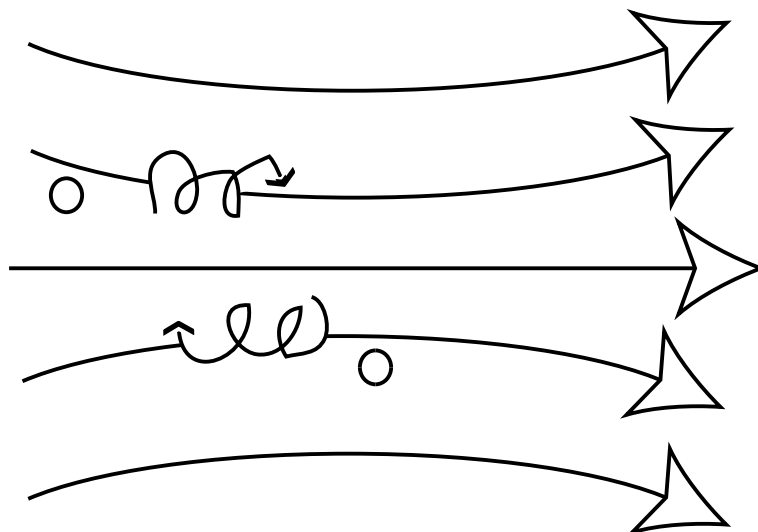
本多目的イオンシャワー装置 EIS-200ER は、気体をイオン化し、そのイオンを加速してエネルギーを与え固体表面を加工 (エッチング) する装置である。イオン銃は磁場中の電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : ECR) を利用した小型の ECR イオン銃で、無電源放電のため均一で、長時間安定したビームが得られる。また、各種ガスをイオン化し、有効ビーム径 ϕ 20mm のイオンビームが最高 3KV まで加速する事ができる。

.1.2 イオン銃の原理

イオン銃室内の真空 (ガス圧) を $5.0 \times 10^{-5} \sim 3.0 \times 10^{-4}$ Torr にして、そこに数百 Gauss 以上の磁場をかけ、その磁場の強さに対応する共鳴周波数のマイクロ波を導入すると、何らかの原因 (宇宙線、光、熱など) で発生した電子がマイクロ波と磁場の相互作用により電子サイクロトロン共鳴と呼ばれる回転振動を始める (図.1)。電子は回転振動しながら移動して行く間 (図.2)、多数の中性分子と激突を起こし、イオン-電子対を発生させる (図.3)。この現象がなだれ式に進み、空間は電離気体 (プラズマ) で充たされる。そこで、空間の一部に窓 (電極版) を設けて、電位勾配をつければイオンのみを引き出す事ができる (図.4)。本装置では 875 Gauss の磁場と 2.45GHz の周波数での ECR を使用している。



☒ .1: ionbeamA



☒ .2: ionbeamB

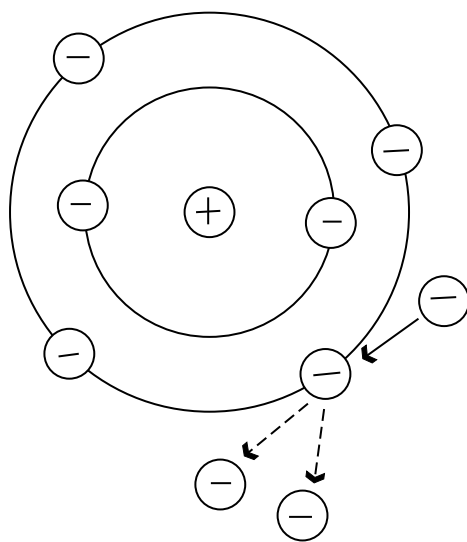


図 .3: ionbeamC

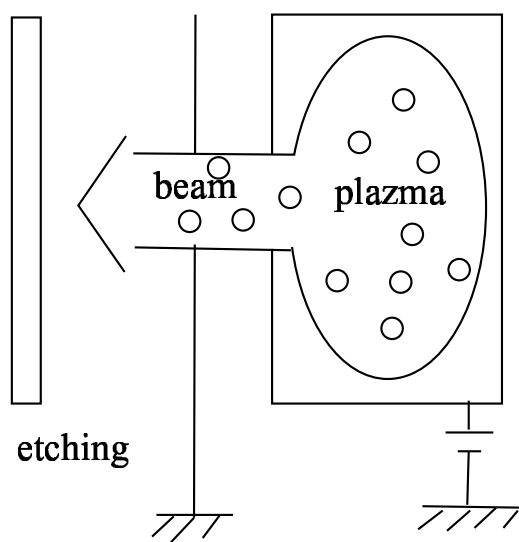


図 .4: ionbeamD

.1.3 仕様

仕様

1. イオン銃

電子サイクロトロン共鳴 (ECR) 型

1. ECR-200ER

2. イオン化ガス Ar,Xe 等、不活性イオン種用ガス
 N_2, O_2, CCl_2, F_2 等、活性イオン種用ガス
3. 加速電圧 100V ~ 3000V 連続可変 (出力電流 20mA: MAX)
4. イオン流密度 Ar : $1mA/cm^2$ 以上 (2KV 加速時)
5. イオンビーム有効径 ϕ 20mm(FWHM 35mm)
6. イオン流安定度 $\pm 5 \%$ /h 以上
7. 到達真空度 3.0×10^{-6} Torr 以下
8. 動作真空度 $5.0 \times 10^{-5} \sim 3.0 \times 10^{-4}$ Torr
9. 試料寸法 $\phi 4$ インチ MAX
10. 試料ステージ X 軸 $\pm 20mm$ 傾斜 $\phi 90^\circ$

寸法

1. 外形寸法 (W)1050 $\times$ (D)650 $\times$ (H)1150
2. 重量 150Kg

設置条件

1. 室温 $15 \sim 30 \text{ } ^\circ C$
2. 湿度 RH60 % 以下
3. 所要電力 単層 AC100V $\pm 10 \%$,2KVA,50/60Hz
4. 床面積 (W)1100 $\times$ (D)850

.2. スピンナー

.2 スピンナー

.2.1 概要及び機能

本装置は、300mm 口径のカップを装置し、シリコンウエハー、ガラス、ガリウム砒素ディスク、セラミック、プラスチック等の試料に対応できるマニュアルスピナーである。機能としては以下の通りである。

- 回転数 : 250rpm ~ 5000rpm
- 回転時間 : 0.1sec sin 500hrs

試料の吸着は、真空によって試料台に固定できるようになっている。また、真空なしでも回転させる事が可能である。

.3 ホットプレート

自動公転式ホットスターラーを、ホットプレートとして使用している。温度制御が精度良くできる事が特徴である。

- 温度設定範囲 : 室温+5 度 ~+150 度 (試料)
- 温度精度 : $\pm 0.1 \sim 2.5$ 度
- 温度調節器 : サーミスター ON/OFF 式
- ヒーター : 400W 無段可変式
- プレート寸法 : 200×200mm
- 外形寸法 : 310×210×180Hmm
- 総重量 : 約 8.3Kg



図 .5: イオンエッチング装置



図 .6: スピンナー



図 .7: ホットプレート

あとがき

研究をふりかえって

ごくろうさまでした。自分が何か始めないと何も始まらない、ということの責任を感じました。日常誰かに押しつけながら生きている自分の事を反省します。

謝辞

酒井研究室のすべての皆様、及び佐々木さんをはじめ株式会社エリオニクスの皆様、本当にお世話になりました。無事卒論が提出できます事となりましたのも、皆様のご支援のお蔭でございます。心より御礼申し上げます。

著者近影

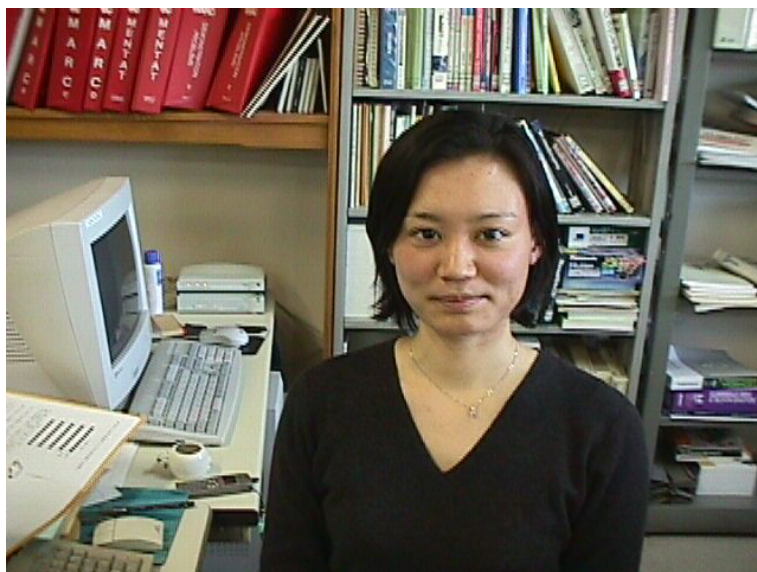


図 .8: 著者近影
著者近影

以上

1～ 47 ページ 完

学士論文

平成 11 年 2 月 4 日 提出

80221 柴田 麻友子

