



電子情報技術産業協会規格

Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

JEITA EM-3604A

厚膜SOIウェーハ標準仕様

Standard specification for thick film SOI wafers

JEITA半導体部会 シリコン規格管理小委員会の終息に伴い、本規格は
2016年3月（平成28年3月）をもって廃止されました。
シリコン規格管理小委員会の活動記録として公開するものです。

2005年6月制定

2013年3月改正

2016年3月廃止

作 成

シリコン技術専門委員会

Silicon Technologies Committee

発 行

一般社団法人 電子情報技術産業協会

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

目 次

ページ

まえがき

1 適用範囲	1
2 項目及び仕様	1
解説	3
1 制定の趣旨	3
2 審議経過	3
3 本仕様の特徴	3
4 測定方法	4
5 JEITA EM-3604A 審議委員会の構成表	28

まえがき

一般社団法人 電子情報技術産業協会（以下、**JEITA** という。）シリコン技術専門委員会傘下の SOI ウェーハ関連技術小委員会（以下、当委員会という。）では、ウェーハメーカ、デバイスメーカ及び測定器メーカ等の参加を得て、高機能・高性能素子用途のウェーハとして欠かすことのできない SOI（Silicon-on-Insulator）ウェーハ及び関連技術に関する幅広い調査活動、SOI ウェーハ及びその測定方法に関する規格の制定、普及・維持活動に取り組んできた。さらに、広く先端機能性ウェーハの可能性に着目した調査活動を行っている。最近ではその成果として、先端 LSI に広く利用されている“ひずみ技術”の重要性と、先端機能性ウェーハへの適用の可能性を見極めるべく、「標準歪測定 WG」及び「標準ローカル歪測定 WG」を相次いで立ち上げて、その成果をそれぞれ 2007 年及び 2012 年に報告書としてまとめて刊行した。

標準化活動では、主に最先端 CMOS-LSI に用いることを想定した薄膜 SOI ウェーハに関する規格 **JEITA EM-3603**「SOI ウェーハの規格と標準測定方法」を 2003 年 9 月に制定し、2005 年 6 月及び 2006 年 6 月の 2 回の改定を経て、現在、**JEITA EM-3603B** として引き続きその普及と維持に努めている。また、**JEITA EM-3603** の制定は、旧 SOI ウェーハ規格 **JEIDA-50-1998** を改正する形で行われたため、**JEITA EM-3603** の発行にともない **JEIDA-50-1998** は廃止された。一方、**JEIDA-50-1998** は CMOS-LSI 用途の薄膜 SOI ウェーハだけでなく、パワーデバイスや Bipolar/BiCMOS 用途に用いられる厚膜 SOI ウェーハに関しても規定していたため、その廃止の影響をあらためて調査した。その結果、当委員会に参加する多数の委員から **JEIDA-50-1998** の厚膜 SOI ウェーハに関する部分が半導体産業の現場で使われている“生きた規格”であり、今後も存続することが望ましいとの回答が得られ、2005 年 6 月に、新たに **JEITA EM-3604**「厚膜 SOI ウェーハ標準仕様」として発行し、やはりその普及と維持に努めている。

本規格は、上記 **JEITA EM-3604**「厚膜 SOI ウェーハ標準仕様」に関して、技術の進展に合わせた改定を加えるものである。

電子情報技術産業協会規格

厚膜 SOI ウェーハ標準仕様

Standard specification for thick film SOI wafers

1 適用範囲

本仕様は、薄膜 SOI の規格である「SOI ウェーハの規格と標準測定方法 (JEITA EM-3603B)」と相互に補完し、厚膜 SOI ウェーハの標準規格に適用する。

2 項目及び仕様

1) ウェーハ全体

	項目	値	単位	推奨される測定法
1	ウェーハ径	125, 150, 200, (300)	mm	
2	ウェーハ径公差	±0.2	mm	
3	厚さ	[B]+SOI 層厚さ+埋め込み酸化膜厚さ (+裏面酸化膜厚さ)	μm	
4	反り (Warp)	≤50 ⁽¹⁾	μm	静電容量法, 光学法
5	TTV (GBIR)	[B]	μm	
6	Site Flatness	[B], ⁽²⁾	μm	
7	テラス幅 (非 SOI 領域)	<2 ⁽²⁾	mm	
8	エッジ除外 (非品質保証領域)	<3 ⁽²⁾	mm	
9	SOI エッジ形状	⁽²⁾	—	
10	方位ズレ (垂直, 面内)	⁽²⁾	度	

2) SOI 層

	項目	値	単位	推奨される測定法
1	使用材料	Cz, Fz, Epi		
2	厚さ	≥1.5 ⁽⁴⁾	μm	分光エリプソメトリ又は反射型
3	厚さ公差	±0.5 μm と ±10 % の大きい方 ⁽⁴⁾	μm	分光エリプソメトリ又は反射型
4	結晶方位	(100), (110), (111) ±1° ⁽²⁾	—	XRD
5	抵抗率	⁽²⁾	Ω・cm	
6	ドーパント	P, As, Sb, B		
7	伝導型	N or P	—	
8	酸素濃度	[B], ⁽²⁾ , ⁽⁴⁾	/cm ³	SEMI MF 1188-1107
9	炭素濃度	[B], ⁽²⁾ , ⁽⁴⁾	/cm ³	SEMI MF 1391-1107
10	メタル汚染	[B]	/cm ²	AAS, ICP-MS, TXRF
11	接合面汚染	⁽²⁾		
12	パーティクル サイズ/数	[B], ⁽²⁾	μm, wafer	光散乱法
13	表面ラフネス	[B]	nm	
14	残留応力	反りの値で代用		
15	OSF 密度	[B]	/cm ²	
16	転位密度	[B]	/cm ²	

	項目	値	単位	推奨される測定法
17	キャリアライフタイム	(²)	μsec	μPCD
18	埋込層の有無：ドーパント、濃度（抵抗率）、厚さ	(²)		
19	COP	(²), (⁴)		
20	OF/ノッチの位置（方位）	(²)		
21	ヘイズ、スクラッチ 等	(²)		

3) 埋め込み SiO₂ 層

	項目	値	単位	推奨される測定法
1	厚さ	0.2~5μm (³)	μm	分光エリプソメトリ、反射分光法、FTIR
2	厚さ公差	±5 (³)	%	分光エリプソメトリ又は反射型
3	接合強度	(²)		
4	接合位置	(²)		
5	ボイド	0	/wafer	赤外干渉法、超音波探傷法
6	比誘電率	熱酸化膜並み	—	
7	絶縁耐圧	熱酸化膜並み	MV/cm	
8	膜中固定電荷密度	(²)	/cm ²	

4) 支持基板

	項目	値	単位	推奨される測定法
1	使用材料	Cz, Fz		
2	結晶方位	(100), (110), (111) ±1°		XRD
3	抵抗率	(²)	Ω・cm	
4	ドーパント	P, As, Sb, B		
5	伝導型	P, N	—	
6	OF/ノッチ	(²)	—	
7	OF/ノッチの位置（方位）	(²)	—	
8	酸素濃度	[B], (²), (⁴)	/cm ³	SEMI MF 1188-1107
9	炭素濃度	[B], (²), (⁴)	/cm ³	SEMI MF 1391-1107
10	メタル汚染	[B]	/cm ²	AAS, ICP-MS, TXRF
11	裏面状態	[B], (²)	—	
12	COP	(²)		
13	裏面酸化膜の有無/厚さ	(²)	μm	
14	エッジ形状/仕上げ	(²)		
15	ゲッターリング能力 (BMD)	(²)		

[B] バルクウェーハと同等

注⁽¹⁾ 150 mmΦ, Base 厚さ 675 μm, 埋め込み酸化膜厚さ 2 μm 以下の場合、ウェーハ直径が異なる場合は案分する。

埋め込み酸化膜厚さ 2~3 μm 以下の場合には ≤70 μm。裏面酸化膜厚さが影響を与える。

注⁽²⁾ ウェーハユーザとサプライヤ間の協議による。

注⁽³⁾ 膜厚、公差とも範囲外が必要な場合には製法を含めての検討になる。

注⁽⁴⁾ 使用材料の値で規定することも可。

厚膜 SOI ウェーハ標準仕様 解説

この解説は、本体及び附属書に記載した事柄、参考に記載した事柄、並びにこれらに関連した事柄を説明するためのもので、規格の一部ではない。

1 制定の趣旨

JEITA EM-3604「厚膜 SOI ウェーハ標準仕様」は、現実に使われていた規格である JEIDA-50-1998 が、JEITA EM-3603 の制定に伴って廃止されたことで生じた問題に対応することを第一の目的として制定された。作業に当っては JEIDA-50-1998 の内容をできるだけそのまま引き継ぐことに留意した。したがって、厚膜 SOI ウェーハに求められる特性やウェーハの製造技術及び測定技術が時代に応じて進歩しているにも係らず、規格制定に際しては規格が存在しないことによる不利益を排除することを最優先とし、時代に応じた新しい要求への対応を、今後適時改正を行うこととして残した。その後、厚膜 SOI は研究開発から実需を伴う段階に移行し、実際に製品が流通するに至った。十数年前に制定した旧 JEIDA 規格に基づいた JEITA EM-3604 は、その時点で予測された厚膜 SOI の応用を網羅し、アプリケーションごとに細分化された仕様表をもってしたが、必ずしも現状とは対応していない。デバイス構造の多様化により個々の表の区別が必ずしも明確でないことから、改定に際して一つの表に統合することとした。さらに、測定方法に関しては、現在の実施状況に合わせて必要な見直し修正を行った。

2 審議経過

SOI ウェーハ関連技術小委員会における、現状の JEITA EM-3604 が技術及び市場の進展に対応していないのではないかと指摘に基づき、2009 年 7 月に厚膜 SOI 標準見直し WG を発足し、見直し作業を開始した。WG ではまず、本当に改定の必要があるかどうかを問うアンケート調査から活動を開始し、特にユーザからの強い要望に応える形で改定作業を開始した。幾度かの WG 会合、メール審議、試案の作成と改良などの作業を経て、2012 年末にようやく成案を得て、承認作業を経て改定版の発行に至った。

3 本仕様の特徴

本仕様は、パワーデバイス用途や MEMS などに用いられる、貼合せ法で製造される SOI ウェーハに対応する。標準項目は、ウェーハ形状からウェーハ品質の細部にまで及んでいるが、現段階において、標準値を検討するための測定手段は必ずしも画一化されていない。そのため、測定方法例及び測定の際の注意事項を付記した。

4 測定方法

4.1 反り/TTV/LTV

4.1.1 静電容量法¹⁾

1) 測定原理

ウェーハとプローブ間に電位を与えると、ウェーハとの距離の変化が静電容量の変化として検出されることを利用した測定法（JIS H 0611）である。ウェーハとプローブ間の距離 d は静電容量 C と出力電圧 V から次式で求められる。

$$d = \frac{\varepsilon A}{C} = \frac{\varepsilon A_p k f}{I_p} \cdot V$$

ここで、 C ：静電容量、 ε ：誘電率、 A_p ：プローブ面積、 d ：距離
 V ：出力電圧、 f ：搬送周波数、 I_p ：プローブ電流（一定）

測定センサの構造例及び測定時のプローブの配置場所をそれぞれ**解説図 1 (a)**、**(b)**に示す。

センサ：静電容量式

センサの構造（例）

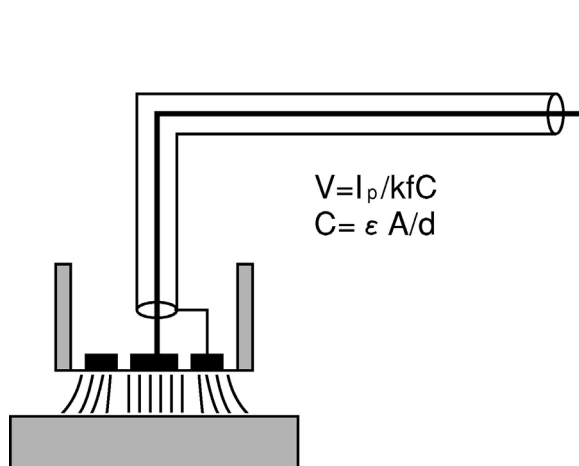
ガードリング

3.81 mm 正方形電極

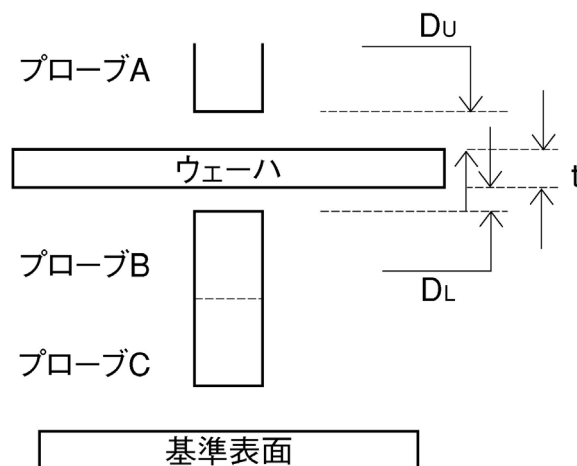
測定：3プローブ方式

フラットネス 2プローブ

反り（ワープ）3プローブ



(a) 測定センサの構造例



(b) 測定時のプローブの配置断面図

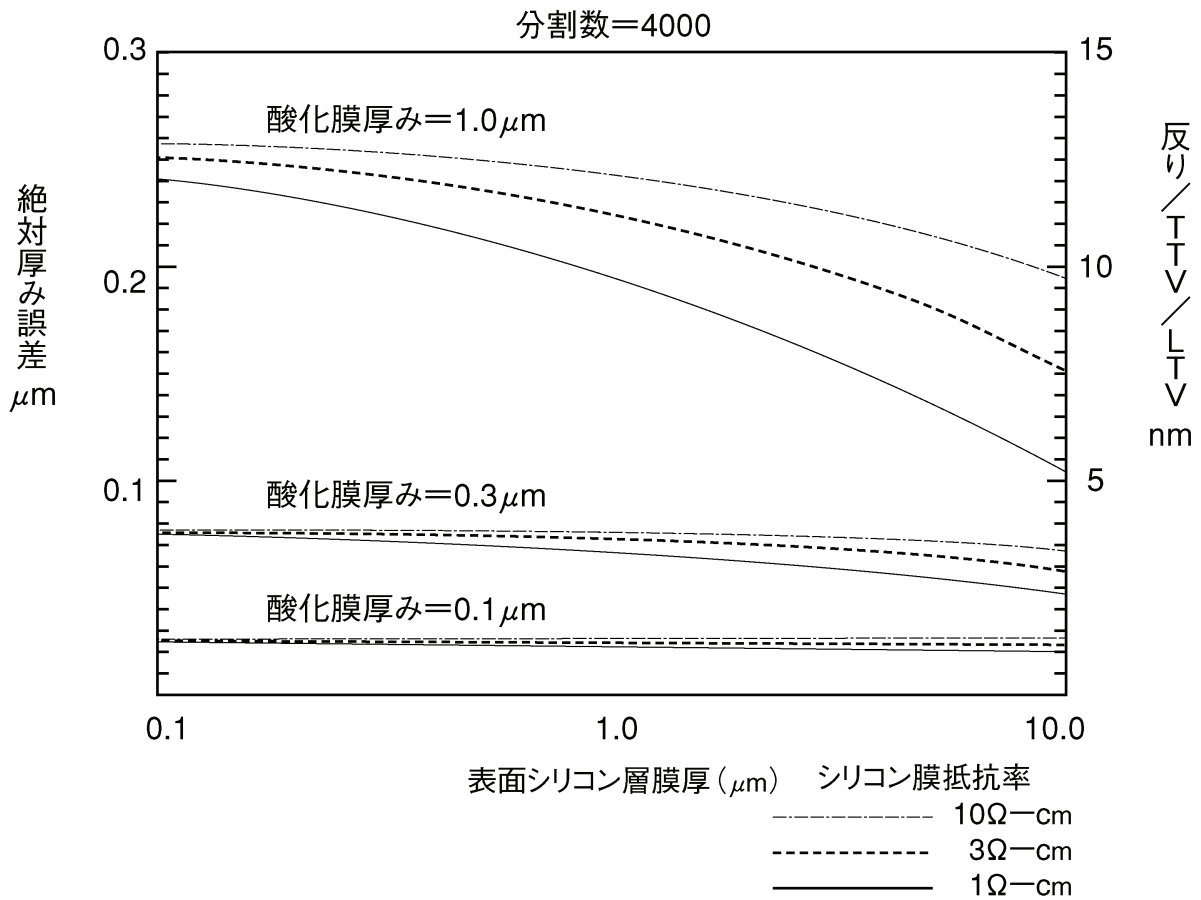
備考 (b)の各プローブ A, B, C は、それぞれウェーハ表面、ウェーハ裏面、基準表面との間の容量を測定するためのものである。D_u、D_Lは、プローブ A とウェーハ表面、プローブ B とウェーハ裏面との距離である。

解説図 1

2) 注意事項

- a) SOI ウェーハの厚み、反り/TTV/LTV の測定誤差は、表面 Si 層の膜厚、抵抗率及び酸化膜の膜厚をパラメータとして計算すると最も測定誤差の大きい薄膜 SOI（抵抗率大）ウェーハの場合でも**解説図 2**に示すように最大で 0.013 μm であり、問題はない。

b) プローブ面積を小さくするほど、測定精度が向上する。ただし、雑音に注意する必要がある。



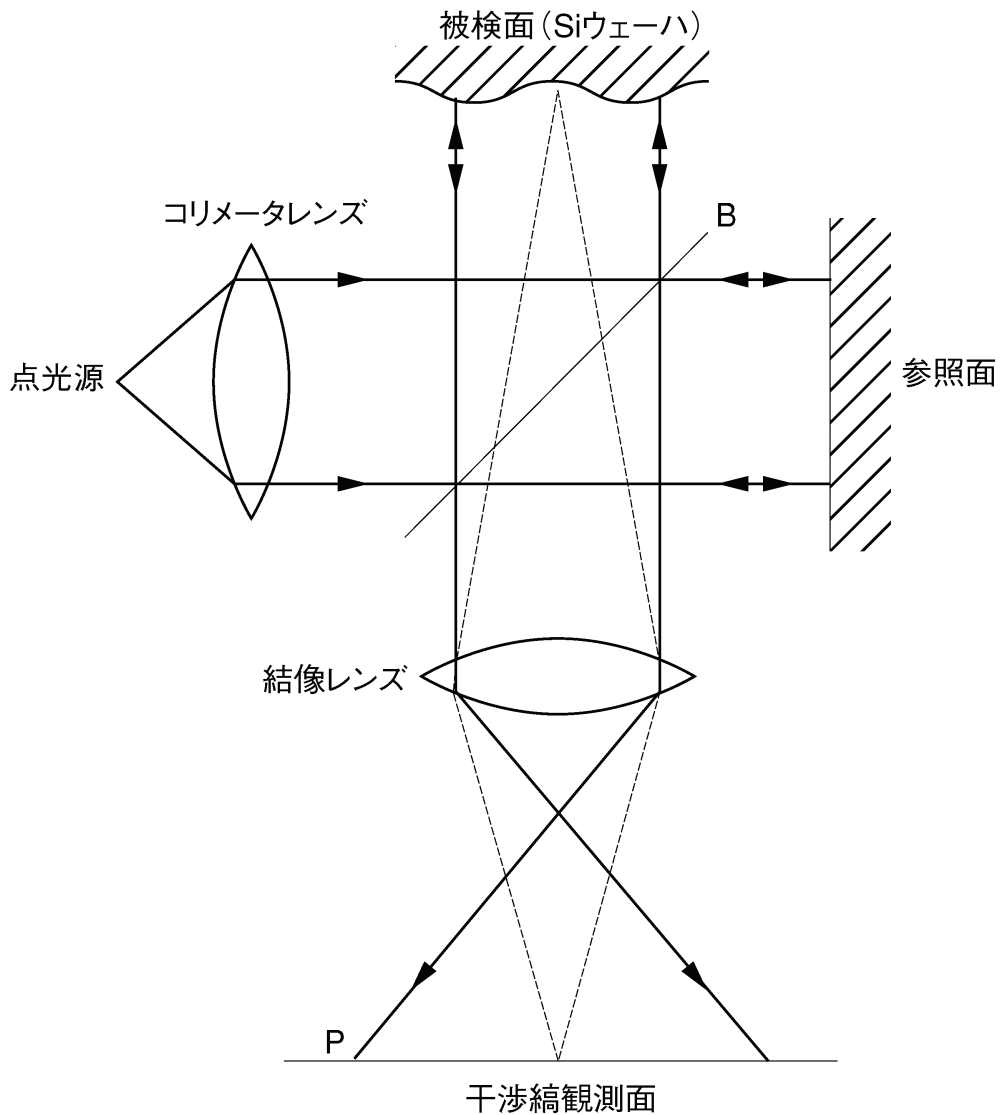
解説図 2—薄膜 SOI (高抵抗率) ウェーハの場合の測定誤差の計算結果²⁾

4.1.2 光干渉計

1) 測定原理

参照面及び測定ウェーハ面に各々平行光線を当てると、各々の面からの反射光が互いに重ね合さることによって干渉が生じる。参照面の平面とウェーハの平面の形状差が干渉縞の形で得られる。

光干渉計の一例としてトワイマン・グリーン干渉計を解説図 3 に示す。



解説図 3—トワイマン・グリーン干渉計

2) 注意事項

ウェーハ自重とチャックの構造による誤差に注意すること。

4.1.3 推奨される測定方法

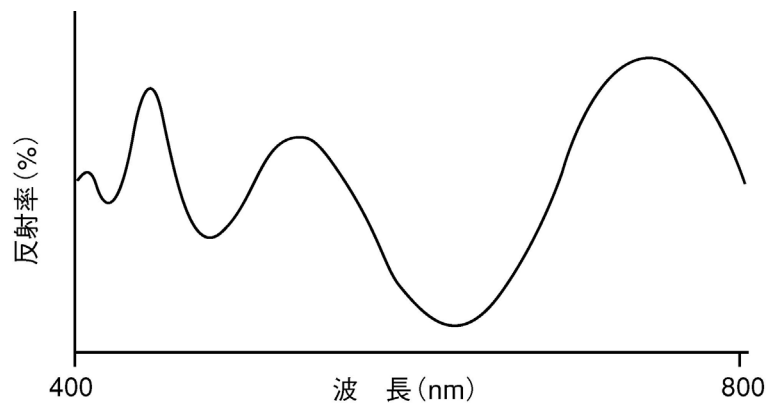
本仕様では、標準仕様の表に記載されている「反り」とは SEMI 規格 (旧 ASTM 規格) による「WARP」を意味する。静電容量法の具体的な手続きと「WARP」の定義は、SEMI MF 1390 (-0707) 及び MF 657 (-0706) に従う。

4.2 SOI 層膜厚

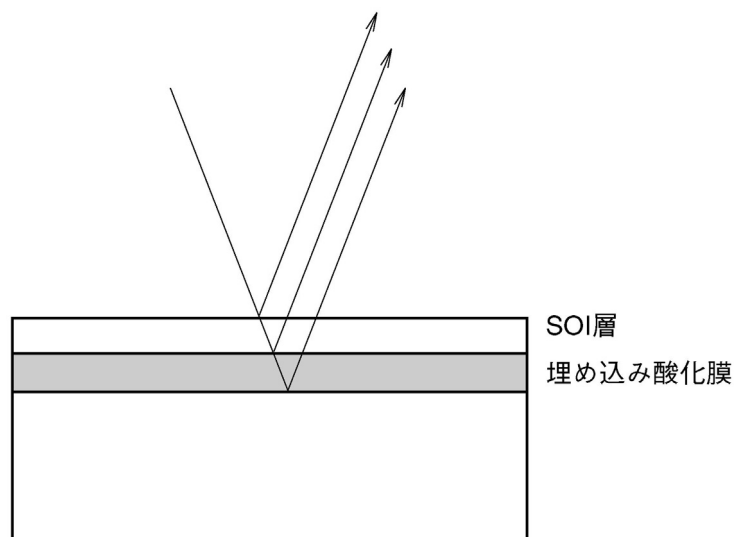
4.2.1 反射分光法

1) 測定原理

波長領域（200～900 nm）の光を連続的に変化させて SOI 層に入射し、反射分光（例：解説図 4）を測定する。SOI の多層膜に光が入射したとき、解説図 5 のように SOI 層表面及び埋め込み酸化膜の表面、裏面で反射が生じる。このとき、位相も変化する。最終的に SOI 表面から反射される光の強度は、各領域で反射された光の和となるが、SOI 層及び埋め込み酸化膜の厚さによって光路差が生じ、波長に応じた位相差があらわれる。このため、波長に依存した反射光強度が得られ、入射光強度に対する比率で反射率として示したものが反射分光である。この分光曲線は SOI 層及び埋め込み酸化膜の厚さによって変化する。測定された分光曲線を、シミュレーションによる近似算出又はデータベースとの比較によって SOI 層の厚さを割り出す。



解説図 4—SOI ウェーハの反射分光測定例³⁾



解説図 5—SOI ウェーハの光の透過と反射

2) 注意事項

- a) 波長領域 (200~900 nm)、波長分解能 (0.5 nm) を利用しているため、測定できる SOI 層及び埋め込み酸化膜の厚さに制限がある。

例 ナノスペック/AFT model : M-6100

SOI 層 : 0.01~25 μm

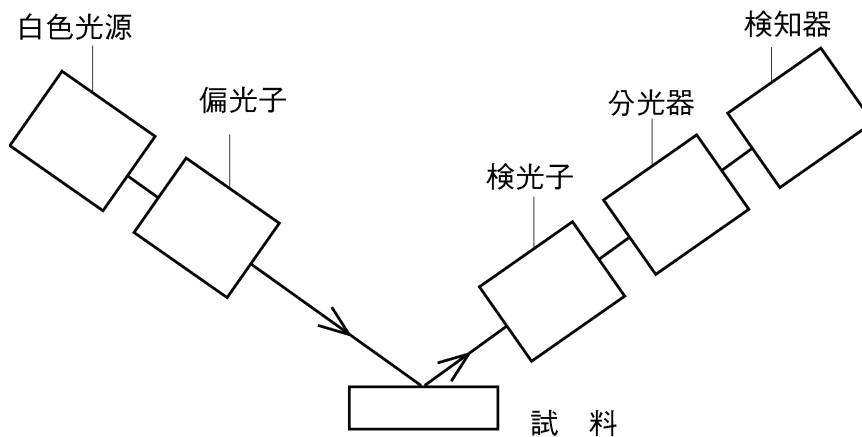
埋め込み酸化膜 : 0.004~5 μm (原理的には、さらに厚い酸化膜も測定できる可能性あり)

- b) 多層膜各層の光学定数が既知であり膜内で一定でなければならない。

4.2.2 分光エリプソメトリ

1) 測定原理

白色光を偏光子で直線偏光にした光を試料に照射し、楕円偏光となった反射光を、検光子、分光器を通して検知器で受光する。各波長に対する $\tan \phi$ (振幅反射率比) と $\cos \Delta$ (位相差) を測定する。一方で、多層膜構造、各層の複素誘電関数と膜厚を仮定して理論的に $\tan \phi$ (振幅反射率比) と $\cos \Delta$ (位相差) を計算し、最小二乗法によって計算値と測定値のフィッティングを行って膜厚を求める。



解説図 6—分光エリプソメータ

2) 注意事項

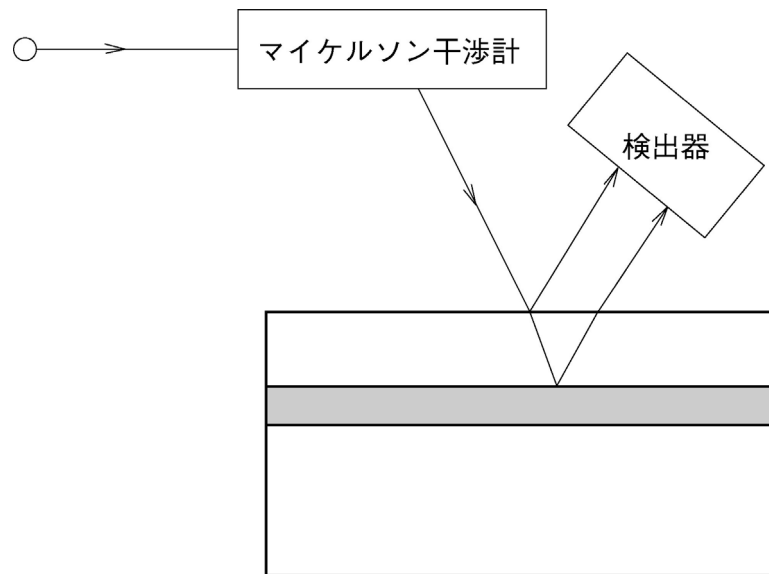
- a) 局所的に膜厚が変動している試料では、入射光のビーム径を適切に小さくする必要がある。⁴⁾
- b) 埋め込み酸化膜にシリコン粒を含む場合や、層間にポイドがある場合には Bruggeman 近似⁵⁾で層の実効的複素誘電関数を与える。

4.2.3 FT-IR (Fourier Transform Infra-Red spectrometry)

1) 測定原理

一般的に平行薄膜に入射した光の反射光は、その膜厚に応じた位相差 (Δ) を生じることが知られている。ここで、この位相差 (Δ) に相当する位相差を有する光が入射した場合には干渉が起こる。

本装置は解説図 7 に示すように、光源から出た赤外線をマイケルソン干渉計にて経時的な位相差を有する状態で試料に入射し、その反射光の時間変化を検出するものである。すなわち、この検出器には膜厚に対応した干渉のピークが観測され、このピークによって膜厚を求めることができる。



解説図 7—FT-IR による膜厚測定の実験系

2) 注意事項

マイケルソン干渉計を出た赤外線が同位相の場合、検出器においてセンタバーストと呼称されるピークが観測される。そして、被測定物の膜厚に応じて観測されるピークは膜厚が薄くなるに従って観測される位置がセンタバーストに近づく。そのため、検出可能（分離可能）な最小膜厚はフーリエ変換処理を施した上で、 $0.3\ \mu\text{m}$ 程度である。また、逆に厚い方では数百 μm 程度まで測定可能である。

4.2.4 膜厚公差の定義

SOI 層膜厚公差の定義を以下のように定める。

- 1) 測定点が 1 測定につき 1 点である膜厚測定の場合、ウェーハ面内数点を測定した後、最大値、最小値を選び出す。そして公差は、

$$\text{膜厚公差} = \text{最大値} - \text{最小値}$$

で定義する。なお、測定位置及び点数は当事者間で合意の上決定する。

- 2) 測定点が 1 測定に多数点（例えば、数百点）の膜厚測定の場合、ウェーハ面内公差は、

$$\text{膜厚公差} = \pm 3\sigma \text{ (標準偏差の } 3 \text{ 倍} \times 2)$$

で定義する。なお、ウェーハ周辺部などの測定除外領域は当事者間で合意の上決定する。

4.2.5 推奨される測定方法

本仕様では、膜厚とその公差の評価には以下の方法を推奨する。

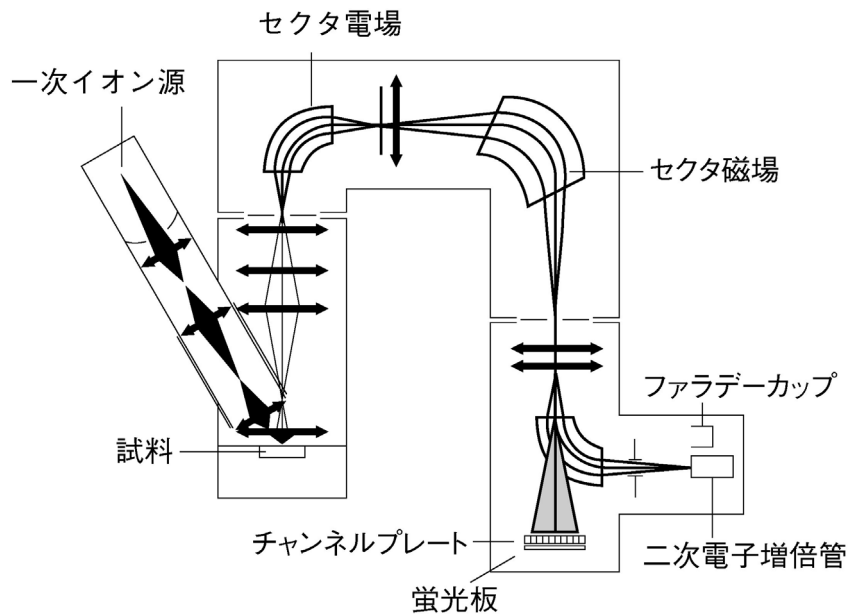
- 1) SOI 層厚さ $25\ \mu\text{m}$ 以下の場合には反射分光法を推奨し、これを超える場合は FT-IR 法を推奨する。
- 2) 数点（例えば、9 点）の膜厚測定を実施し、最大値と最小値の差で公差を定義する。
- 3) 貼合せ SOI の埋め込み酸化膜は、酸化膜形成時の膜厚測定評価の値を用い、必ずしも SOI 構造で評価しなくてもよい。
- 4) 上記 1)～3) のいずれの場合も、数点測定の場合は、測定点数と測定位置を、多数点測定の場合は測定除外領域を明示する。

4.3 $N_d \cdot \rho_{s5}$

4.3.1 SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry)

1) 測定原理

SIMSは**解説図8**に示すように、一次イオンビーム（例 O_2^+ 又は C_s^+ ）を試料表面に照射し、その表面からスパッタリングによって発生する二次イオンを質量分析することで試料の構成元素を分析する方法である。



解説図8—SIMSの測定原理

2) 注意事項

埋め込み SiO_2 層の存在による試料のチャージアップ, Si と SiO_2 で検出感度が異なるマトリックス効果及び妨害イオンの存在（例： P^{31} 分析における $Si^{30}H^1$ の存在）に注意する。

4.3.2 四探針法

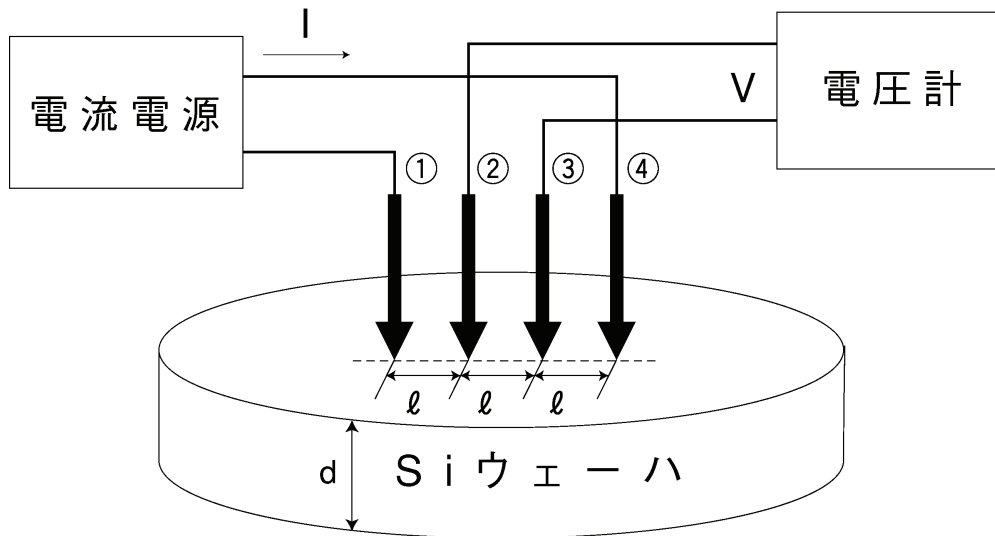
1) 測定原理

解説図9に示すように、等間隔 ℓ で並んだ4本の針をウェーハに接触し、外側の電極①、④間に既知の電流 I [A] を流し、中央の電極②、③によって電圧値 V [V] を測定する（**JIS H 0602**）。抵抗率 ρ [$\Omega \cdot cm$] は次式で与えられる。

$$\rho = 2\pi\ell \cdot \frac{V}{I}$$

$\ell \gg d$ の場合

$$\rho = \frac{\pi}{\log_e 2} \cdot \frac{V}{I \cdot d} \doteq \frac{4.45}{d} \cdot \frac{V}{I} \quad (\Omega \cdot cm)$$



解説図 9—四探針法の測定原理

2) 注意事項

- a) ウェーハ洗浄後、不純物の影響によってウェーハ表面に正又は負の電荷をもつ場合や、埋め込み酸化膜中の固定電荷の影響によって空乏層が広がると、四探針法では正しく抵抗率を測定できない場合があることに注意する。
- b) 貼合せ SOI ウェーハの抵抗率測定は埋め込み酸化膜中の固定電荷による空乏層の存在が無視できる程十分厚いシリコン層の場合のみ四探針法で測定可能である。

4.3.3 拡がり抵抗法

1) 測定原理

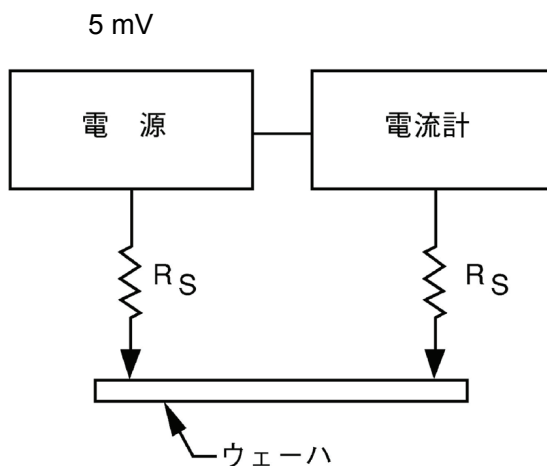
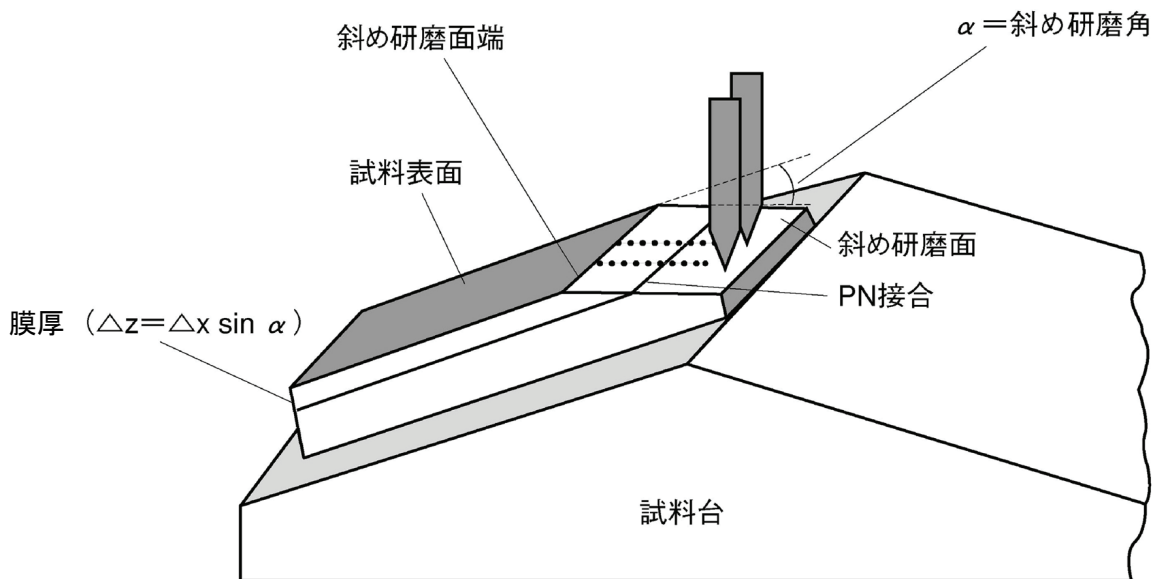
斜め研磨されたウェーハの斜め研磨面に沿って 2 本のプローブを既知のステップで走査する。各ステップにおいて 2 本のプローブ間に既知の電圧（例：5 mV）を印加し、そのとき、プローブ間に流れる電流を測定することによって拡がり抵抗を求める（解説図 10）。

2) 注意事項

SOI ウェーハを斜め研磨した場合、表面シリコン層の拡がり抵抗測定において、埋め込み酸化膜の固定電荷の影響及び、界面付近では下部に埋め込み層が存在することによって抵抗値が高くなるため、注意する必要がある。

3) 一般的注意事項

SOI ウェーハ特有の現象として、ウェーハ作製時に雰囲気からのボロン汚染によって表面 Si 層や貼合せウェーハの接合界面近傍のボロン濃度が上昇する場合があることに注意する必要がある。



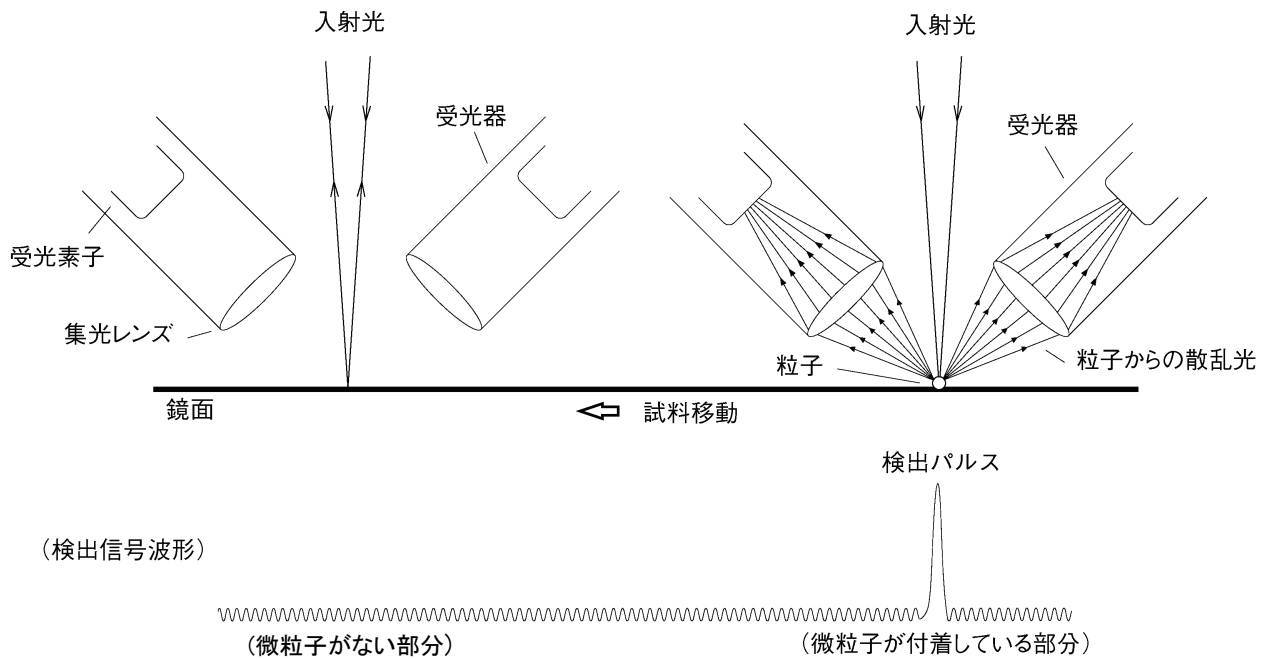
解説図 10—拡がり抵抗法の測定原理

4.4 パーティクル

4.4.1 光散乱法

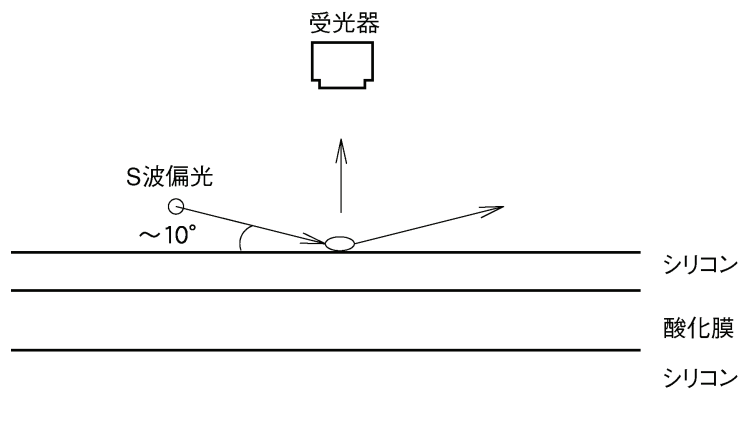
1) 測定原理

レーザー光をウェーハ表面に照射して、その表面に付着した微粒子からの散乱光を受光する。レーザー光をウェーハ表面に走査しながら受光すると、ウェーハ表面からの散乱光やノイズは直流成分として、微粒子からの散乱光はパルス成分として検出される。粒子径は標準粒子を用いて較正する（解説図 11）。



解説図 11—微粒子の検出原理

多層膜ウェーハである SOI ウェーハでは、膜界面からの散乱光ノイズが多いので、膜内部への入射成分を少なくし、表面反射成分を多くする工夫が必要である。例えば、約 10° の低角度入射の S 波偏光は約 85% がシリコン表面で反射され、S/N が改善される (解説図 12)。



解説図 12—S 波偏光低角度照射による S/N の改善

4.5 ラフネス

4.5.1 AFM (Atomic Force Microscope)

1) 測定原理

探針つきカンチレバーを試料表面に接触させ、これを掃引することによるカンチレバーの位置変位を、例えば、光学的な手法で読み取り、凹凸の二次元的情報を引き出すものである (解説図 13, 14)。

2) 注意事項

- a) ラフネスを正しく評価するためには、評価用試料の表面処理方法に配慮が必要である。

<表面処理の一例>

- i) 表面 Si 層を観察する場合の表面処理：
希釈 HF 溶液→水洗→乾燥
- ii) 埋め込み酸化膜界面（上側）を観察する場合の表面処理：
希釈 HF 溶液→水洗→KOH 溶液→水洗→乾燥
- iii) 埋め込み酸化膜界面（下側）を観察する場合の表面処理：
希釈 HF 溶液→水洗→KOH 溶液→水洗→希釈 HF 溶液→水洗→乾燥

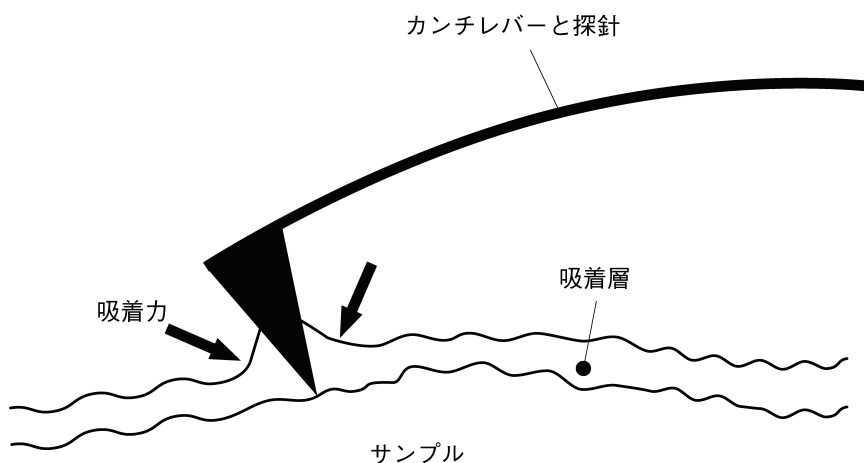
<表面処理に用いる薬液の一例>

希釈 HF 溶液：室温，1.5 %
KOH 溶液：50～60 °C

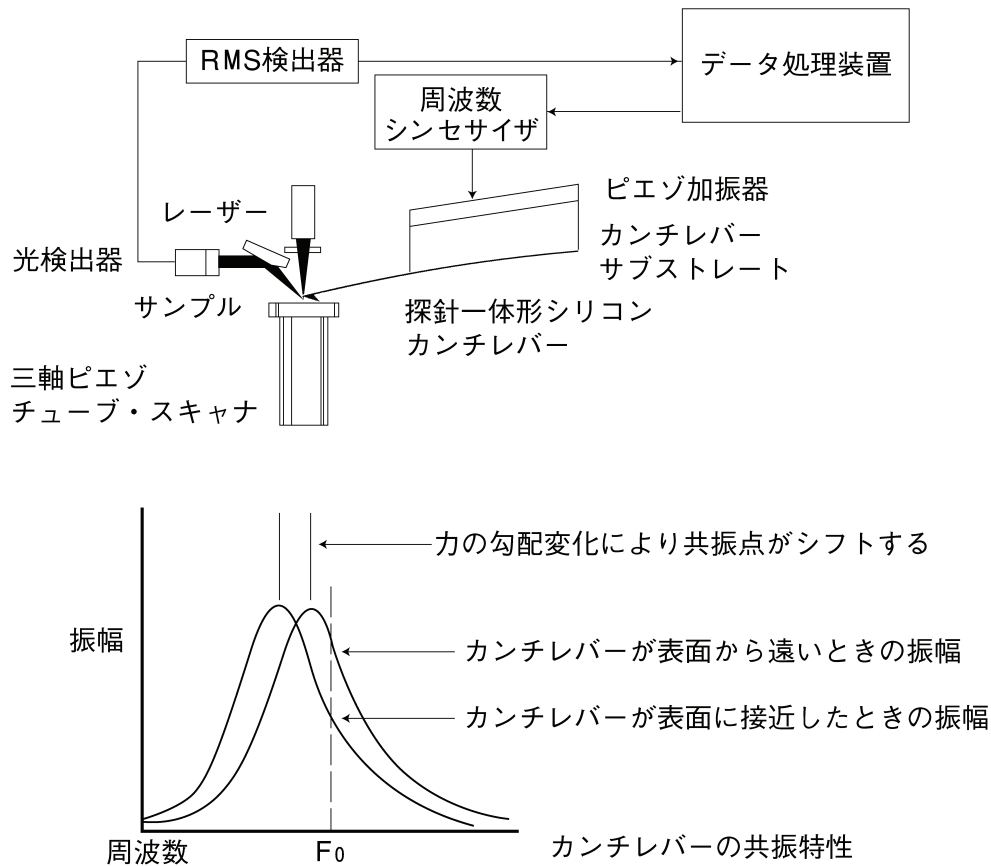
- b) 探針の先端形状（寸法）に十分留意し、評価対象に合わせて触針の方法（コンタクト法，タッピング法，ノンコンタクト法）を選択する必要がある。

- i) コンタクト法：原子寸法オーダの評価が可能であるという特徴があるが、絶縁膜上では触針による静電気がデータに影響を与える場合があるので注意が必要である。
- ii) タッピング法：材料に依らず安定な評価を得やすいという特徴があるが、掃引速度が平坦性に依存することから、平坦性の良好な試料を除き、広範囲の観察に不向きである。
- iii) ノンコンタクト法：表面吸着層の影響を受けやすいので最近是用いられない。

- c) 凹凸の高さの校正：JEITA EM-3505 を参考とする。



解説図 13—探針付カンチレバー



解説図 14—原子間力顕微鏡

4.5.2 推奨される測定方法

本仕様では、ラフネスの評価方法として、AFM (Atomic Force Microscope) 法を推奨する。AFM 法によるラフネス評価結果としては、「測定領域の大きさ」と「Ra 値」を示すこととする。また、評価データの校正は、JEITA EM-3505 に基づいて行う。

4.6 残留応力

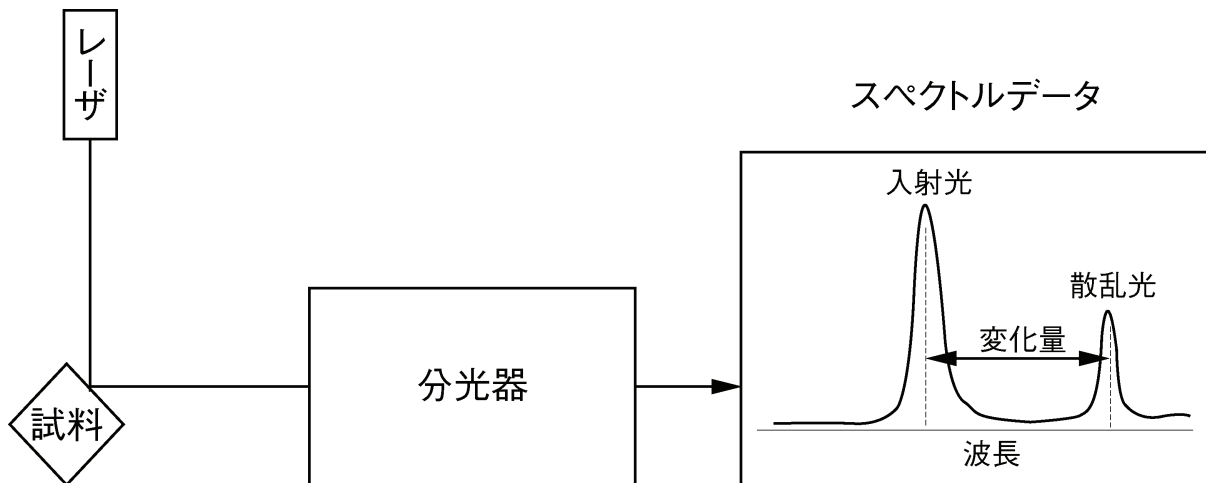
4.6.1 ラマン分光法

1) 測定原理⁶⁾

ラマン散乱は、試料に入射した光が結晶の格子振動で変調を受け、元の波長と異なる波長の光が放出される現象で、この波長の変化量は、格子振動のエネルギーに対応している。一方、格子振動のエネルギーは、結晶に掛かっている応力に対応して変化するため、波長の変化量から結晶に掛かっている応力を見積もることが可能となる。

入射光とラマン散乱光の変化量は、結晶に掛かる応力が小さければ比例関係があり、圧縮応力が掛かった場合には大きく、引張り応力が掛かった場合には小さくなる。

等方的な応力が掛かっている場合は、 1 cm^{-1} は $7 \times 10^8 \text{ Pa}$ の関係がある。二次元的な応力が掛かっている場合には、3重に縮退しているラマンバンドが二つに分解し、それぞれ doublet と singlet で、 1 cm^{-1} は $3 \times 10^8 \text{ Pa}$ 、 1 cm^{-1} は $4 \times 10^8 \text{ Pa}$ となる。



解説図 15—ラマン分光法原理図

2) 注意事項

- a) 入射光の Si への侵入長と SOI 層の膜厚を考慮し、ラマン信号を解析する必要がある。入射光の Si への侵入長が、SOI 層の膜厚より大きければ、SOI 層からのラマン信号に Si 基板からのラマン信号が重なるため、分離が必要となる。この場合、測定スペクトルを二つのローレンツ成分に分離できなければ、残留応力は 3×10^8 Pa 以下と見積もることができる。
- b) SOI 構造による熱の逃げの悪さからサンプルヒーティングの起こる可能性があり、入射パワーを極力抑えることが必要である。入射パワーを変化させてシフト量を測定することによって、サンプルヒーティング量を見積もることができる。

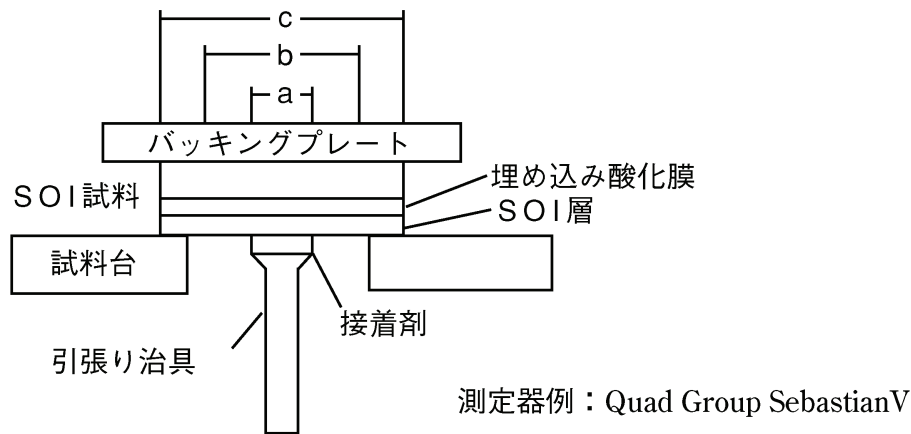
4.7 接着強度

4.7.1 引張り法

1) 測定原理

接合面をはく離させるように接合面に対し垂直に力を加え、はく離時に加えた引張り強度（通常： Kgf/cm^2 ）を接着強度と定義し評価する。

解説図 16 で示すように SOI 層に接着剤（例：エポキシレジン）で引張り治具を固定し、試料は水平に試料台に固定させ、治具を接着面がはく離するまで接着面に対し垂直に引っ張る。



解説図 16—引張り法による接着強度測定

2) 注意事項

- a) はく離面が接着剤界面又はシリコン塊断面といったように接合界面でない場合、接合強度はそのときに得られた引張り力でなく、それ以上と判断する。接着剤強度の最大値が、本手法の評価上限となる。
- b) 試料切り出しでは、ひずみが引張り治具接着面に達しないよう、治具に対し大きめの寸法で試料作りを行う。

例 治具の接着面径 : $a=2.7\text{ mm } \phi$
 試料台の窓の大きさ : $b=4.0\text{ mm } \phi$
 試料の大きさ : $c=7.0\text{ mm } \square$
 試料台の外径 : $7.5\text{ mm } \phi$

4.7.2 HF 腐食法

1) 測定原理

接合劈開断面を定められた条件で HF 液に浸漬し、HF 液にて腐食された接合面の浸透深さを顕微鏡などで測定して、これを相対的接着強度として評価する。

2) 注意事項

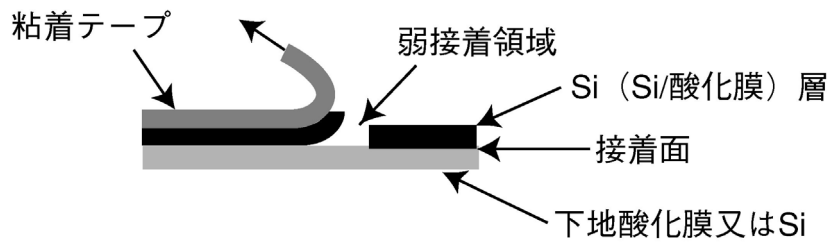
- a) 接合断面のひずみが極小となるよう、機械的切断を避け、結晶劈開面を使用する。
- b) HF 浸漬条件が一定になるよう液温、液濃度、浸漬時間などの条件を定める。また、ばらつきが補正できるように、レファレンスサンプル（例：表面を保護した熱酸化膜界面）を比較用として用いる。

4.7.3 粘着テープ法

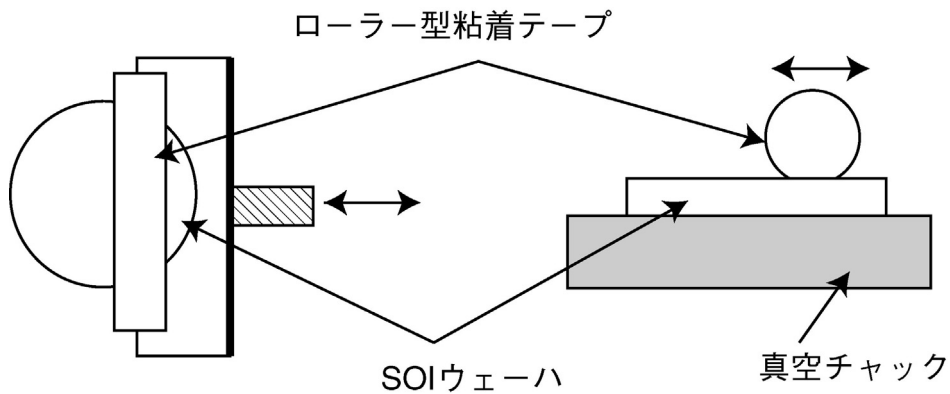
1) 測定原理

ウェーハ表面に粘着テープを張り付けた後、引きはがす。このとき、接着力の弱い領域の Si 層が粘着テープとともにはく離する。これによって、ウェーハ全域の弱接着領域の場所、大きさ、数を数値化する接着強度測定方法である。⁷⁾

ウェーハを真空チャックで固定した後、ローラー型の粘着テープを押し付ける。次に、ウェーハ全域でローラーを移動させる。



解説図 17—粘着テープ法原理図



解説図 18—粘着テープ法による測定

2) 注意事項

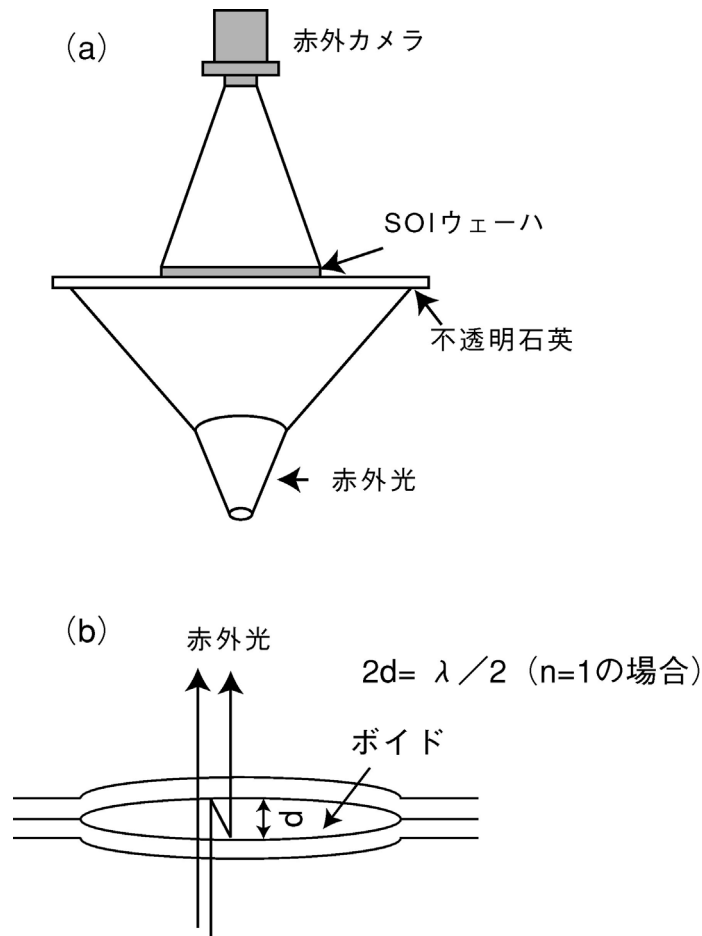
- 真空チャックが十分に強くないと、ウェーハが破壊することがある。
- 粘着テープは、測定ごとに取り替える。
- ウェーハ表面を保護する必要がある場合には、フォトレジスト（例えば、ポジタイプ、ハードベーク）塗布が有効である。
- 検出可能な弱接着領域の大きさには膜厚依存性がある。例えば、Si層の厚さは1 μm 以下が望ましい。
- はく離領域の計測と記録には、魔鏡が有効である。

4.8 ボイド

4.8.1 赤外干渉法

1) 測定原理

SOI ウェーハを透過してくる波とボイド両端で反射され透過してくる波との干渉縞によってボイドの有無を検出する。波の干渉が生じる条件は、ボイドのギャップ幅を d 、用いる波長を λ とすると、 $2d=n\lambda/2$ ($n=1, 2, \dots$) となる。



解説図 19—赤外干渉法の原理図

2) 注意事項

- a) 光が SOI ウェーハを透過するためには、波長が 1.1 μm 以上の赤外光を用いる必要がある。
- b) 低抵抗率 (0.02 Ωcm 以下) ウェーハでは、赤外光の透過光の吸収のため、測定が不可能である。

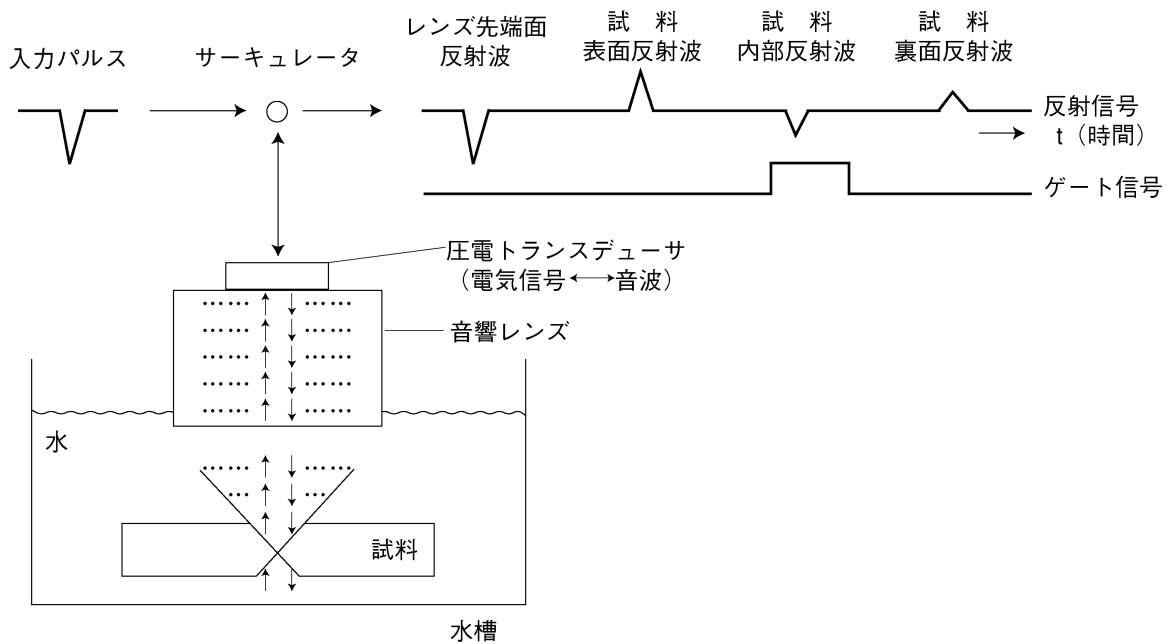
4.8.2 超音波探傷法

1) 測定原理

ボイド両端で反射される音波の伝達時間の違いを検出する。SOI ウェーハの所定の深さに相当する範囲にゲートをかけ信号を取り出すことによって、その深さにおける反射信号が得られる。水中で測定を行うと、音響レンズによって超音波ビームを絞ることができ位置分解能が向上する。

2) 注意事項

- a) 水中での測定のため、結合強度の弱い SOI ウェーハの測定は適さない。
- b) 薄い SOI 層 (10 μm 以下) では、ウェーハ表面からの反射と結合界面からの反射を分離できないため、測定は適さない。
- c) 検出可能なボイドギャップ幅は、用いる音波の周波数に依存する。検出可能なボイド径は、用いる音源や受信部の寸法に依存する。一例として、75 MHz の周波数を用いた場合、ボイドギャップ幅 5 nm、ボイド径 50 μm が検出可能である。

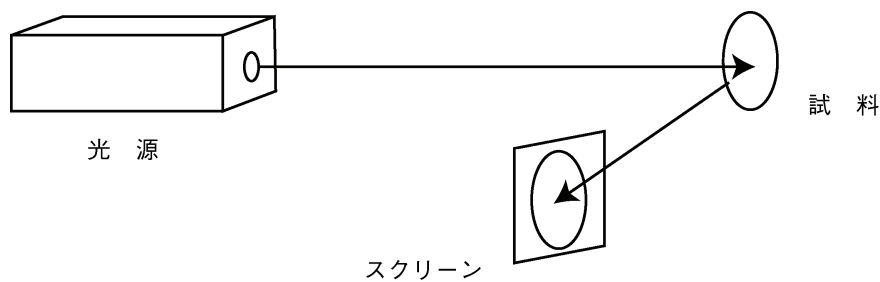


解説図 20—超音波探傷法の原理図

4.8.3 魔鏡法

1) 測定原理

ボイド発生によって、その位置に対応した SOI ウェーハ表面に生じた膨らみをハロゲン光又はキセノン光を用いて検出する。SOI ウェーハ表面の凹部で反射された光は、スクリーン上に集光され明るい（白）像を結像し、SOI ウェーハ表面の凸部で反射された光は暗い（黒）像を結像する。この白黒の濃淡からボイドの存在を検出する。



解説図 21—魔鏡法の原理図

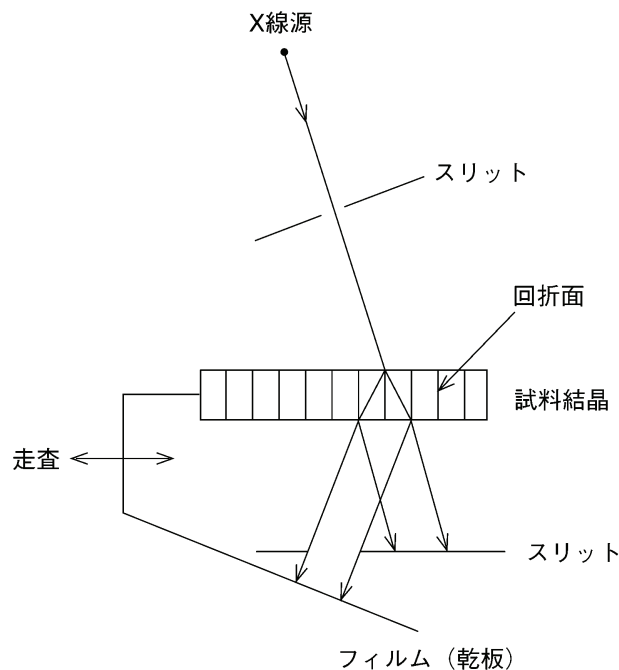
2) 注意事項

- a) SOI ウェーハ表面が鏡面であること。
- b) SOI ウェーハ表面に膨らみを生じない微小ボイドは測定不可能である。
- c) ボイドの検出感度は、光源と試料、試料とスクリーンとの距離に依存する。

4.8.4 X線トポグラフィ法（ラング法）

1) 測定原理

SOI ウェーハを透過した X 線をスリットで切り、SOI ウェーハで回折された X 線のみをフィルム上で撮影する。回折 X 線強度はボイド発生に伴う格子ひずみによって増幅され、ボイド検出が可能となる。SOI ウェーハとフィルムを同時に往復移動することによって、SOI ウェーハ全体からの回折像を得る。



解説図 22—X 線トポグラフィ法（ラング法）の原理図

2) 注意事項

格子ひずみは SOI 層が薄くなると小さくなるため、厚膜 SOI 層ウェーハにおけるボイド検出に適している。

4.9 ピンホール

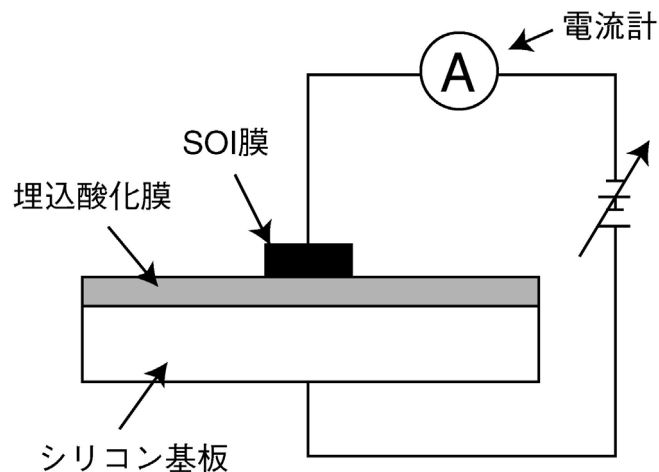
4.9.1 MOS キャパシタ法

1) 測定原理

ドーピングして低抵抗化した SOI 膜（ゲート電極）と埋め込み酸化膜，基板で MOS キャパシタを形成する。その MOS キャパシタの基板—ゲート電極間に電界で 1~2 MV/cm に相当する電圧を印加し，電流を測定する。電流が，例えば，1 μ A 以上の場合，その MOS キャパシタはピンホールによる不良とする。種々の面積の MOS キャパシタについて良キャパシタ率を求める。ピンホールが均一に分布していると仮定すると，次の式からピンホール密度が算出される。

$$P = \exp(-D \cdot S)$$

ここで， P ：良キャパシタ率， D ：ピンホール密度， S ：MOS キャパシタの電極面積



解説図 23—MOS キャパシタ法の原理図

2) 注意事項

予想されるピンホール密度に合わせて MOS キャパシタの電極面積を適切にとること。例えば、ピンホール密度が 0.1 個/cm² 程度の場合、 $0.001 \sim 1$ cm² の範囲の電極を数種類用いるとよい。

4.9.2 推奨される測定方法

実際に用いる方法とその測定条件については、ウェーハ供給側とユーザ側の協議事項とする。

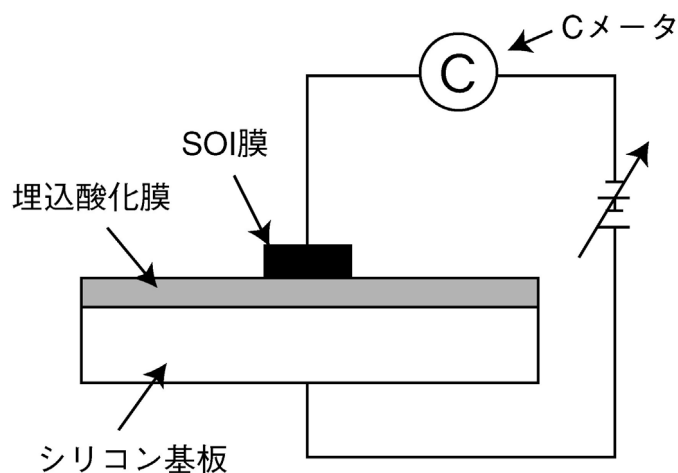
4.10 膜中固定電化測定法

4.10.1 MOS キャパシタ法

1) 測定原理

ドーピングして低抵抗化した SOI 膜（ゲート電極）と埋め込み酸化膜，基板で MOS キャパシタを形成する。その MOS キャパシタのゲートバイアスと高周波容量との関係を測定し，その C-V 曲線と理想的な理論 C-V 曲線とを比較してフラットバンド電圧のシフト量 (ΔV_{FB}) を求め⁸⁾，次の式から固定電荷密度 (N_{FB}) を算出する。

$$N_{FB} = (C_{OX} / qS) \Delta V_{FB}$$



解説図 24—MOS キャパシタ法の原理図

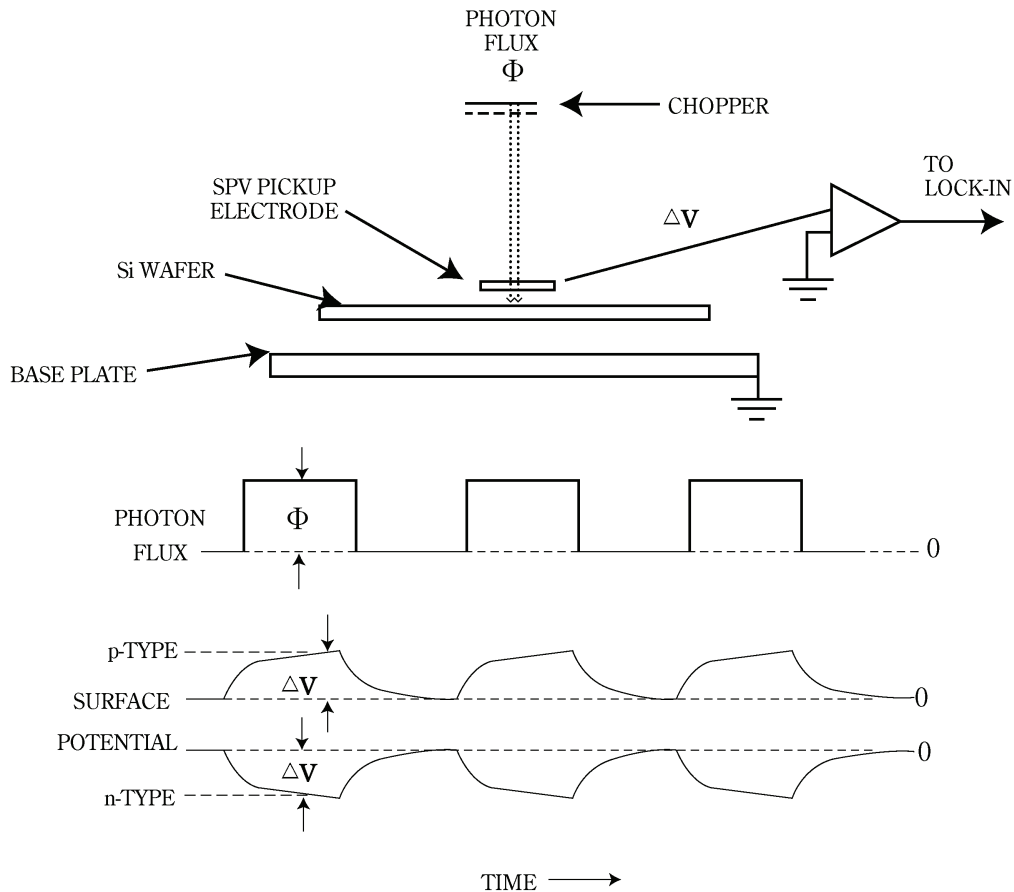
2) 注意事項

高抵抗基板の場合、基板抵抗の影響を考慮する必要がある。

4.10.2 SPV 法

1) 測定原理

SOI ウェーハの表面からシリコンのバンドギャップエネルギー以上のエネルギーの光を照射して、過剰のキャリアを励起して SOI 層の表面及び埋込酸化膜界面でのバンドベンディングをフラットにし、そのときの表面電位の変化 (SPV) を測定する。表面電位変化から固定電荷密度を算出する。



解説図 25—SPV 法の原理図

2) 注意事項

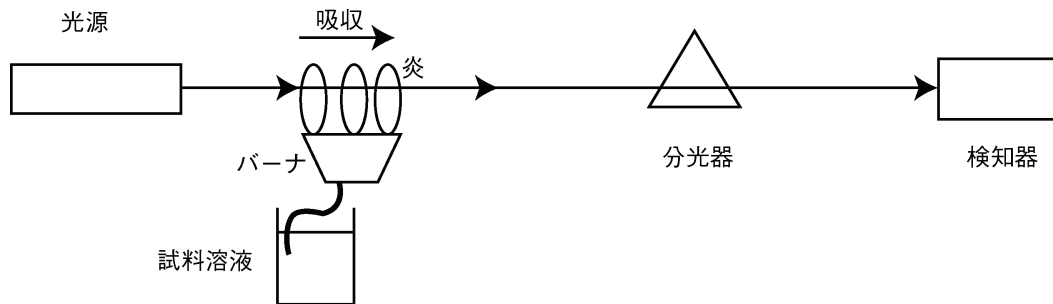
- a) SPV で求めた固定電荷のキャリブレーションは、バルクウェーハを使い、MOS キャパシタの C-V 測定で求めた固定電荷密度で行う。
- b) SPV で求まる電荷密度は固定電荷密度、界面電荷密度が含まれる。
- c) 照射する光の強度は、SPV が十分飽和する強度にする。
- d) SOI 層の膜厚が最大空乏層幅の 2 倍より薄い場合には、バンドベンディングの重なりや完全空乏化が起きる可能性があり、それぞれに適した SPV モデルが必要である。
- e) 表面電荷密度、埋込酸化膜の下側界面の電荷密度は無視しているが、その影響並びにその排除法については検討が必要である。

4.11 汚染

4.11.1 原子吸光分析法 (AAS/Atomic Absorption Spectrophotometry) ^{10), 11)}

1) 測定原理

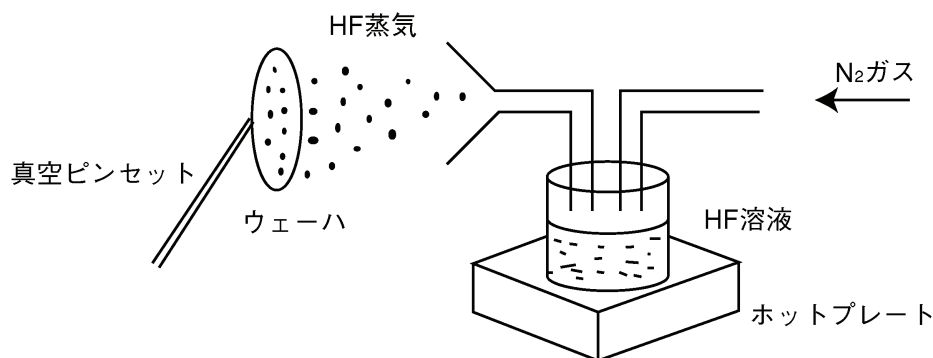
通常試料溶液をエアロゾルとしてフレイム（炎）中に導入し、これに光源からの光を通して原子によるその元素固有の吸光を測定する。



解説図 26—原子吸光分析装置原理図

2) 注意事項

- a) 正しい測定を行うには、サンプル作成に配慮が必要である。
 - i) シリコンを酸化して酸化膜を HF などの回収液でサンプルとする方式が主に用いられる。回収の方法の一例として**解説図 27** に HF 蒸気分解装置を示す。このとき、基板は撥水性を示す必要がある。
 - ii) 測定の高感度化のため、回収液は少量とし液滴をウェーハ全面に転がすように操作回収する。
- b) 酸化プロセスによる重金属の再分布、外部からの汚染の混入を防ぐため、酸化は低温プロセス (ECR プラズマ, ステップエッチングなど) を用いる必要がある。
- c) 貴金属は、HF のみでは回収できないので、他の回収液を用いる必要がある。
 - ・ Cu : HF-H₂O₂ (HF : H₂O₂ : H₂O=1 : 17 : 82)
 - ・ Au, Pt : 王水 (HNO₃ : HCl=1 : 3)

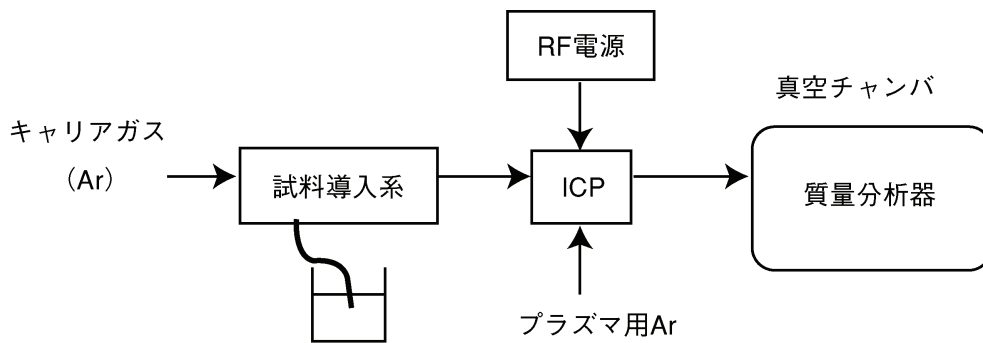


解説図 27—HF 蒸気分解装置

4.11.2 誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS：Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry）¹²⁾

1) 測定原理

イオンソースとしての ICP（誘導結合プラズマ）部とそこで生成したイオンを分離測定する MS（質量分析器）部から構成されている。一般に溶液サンプルは、ネブライザで霧化されスプレーチャンバを通った後、トーチと呼ばれる石英管の中に保持されているアルゴンプラズマ中に導入され加熱分解、蒸発、電子化、そしてイオン化される。少数のイオン化ポテンシャルの比較的高い元素（F, He, Ne, etc.）を除いてほとんどの元素が十分（90 %以上）イオン化される。イオンは真空チャンバに導かれ、質量分析器によって測定される。



解説 28—ICP-MS 装置原理図

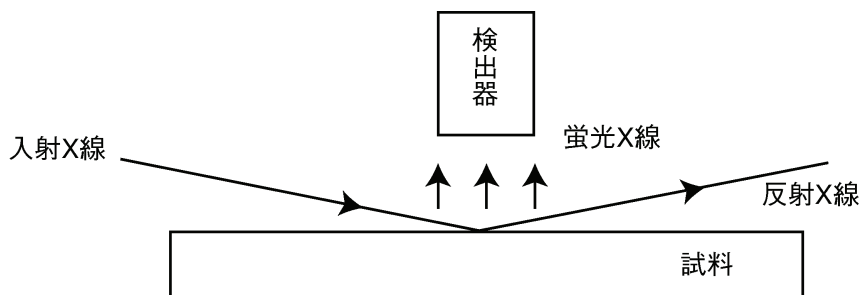
2) 注意事項

- a) サンプル作成には、AAS 法と同様な注意事項が必要である。
- b) Fe の定量は、質量数が近い ArO^+ の存在によって、検出感度が低下するので注意が必要である。

4.11.3 全反射蛍光 X 線分析法（TRXF／Total Reflection X-Ray Fluorescence）¹³⁾

1) 測定原理

X 線が全反射を起こすように、ウェーハに対して X 線を低角に入射し、蛍光 X 線のエネルギーとその X 線強度を測定することによって、元素を固定してその量を求める。通常の X 線入射角は 0.1° 以下である。



解説図 29—全反射蛍光 X 線装置原理図

2) 注意事項

X 線の入射角度の変化によって、深さ方向の情報が得られるが定量化は困難である。このため、ステップエッチを併用しない場合は、試料の表面の分析に適用される。

4.12 ライフタイム

4.12.1 μ -PCD 法¹⁴⁾

1) 測定原理

光パルスによって試料中に発生した過剰キャリアは試料導電率を増加させ、それらが再結合によって消滅するのに伴い導電率は減少する。この変化は反射マイクロ波光導電減衰法によってモニタすることができ、反射マイクロ波パワーの時間変化を解析することによって再結合ライフタイムを求めることができる。再結合ライフタイムは禁制帯中に不純物準位を形成する金属不純物や欠陥などが存在すると減少する。再結合ライフタイムの解析から、試料中の金属不純物や結晶欠陥などの評価を行うことができる。

2) 注意事項

- a) 実効再結合ライフタイム τ_{eff} は次式で表される。

$$\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau_B} + \frac{1}{\tau_s + \tau_D}$$
$$\tau_s = \frac{d}{2S}, \quad \tau_D = \frac{d}{\pi^2 D}$$

(τ_B =バルクライフタイム, τ_s =表面再結合ライフタイム, S =表面再結合速度, d =ウェーハ厚, τ_D =拡散ライフタイム, D =拡散係数)

SOI ウェーハにおいては、SOI 層の厚さ d がバルクウェーハに比べ非常に薄いため、測定されるライフタイム τ_{eff} は厚さ d の影響を受ける。

また、前記表面再結合ライフタイム τ_s は SOI ウェーハにおいては埋込酸化膜界面での再結合を考慮する必要があるため、

$$\tau_s = \frac{d}{S_{Si/Box} + S_{Si}}$$

($S_{Si/Box}$ =埋込酸化膜界面での再結合速度, S_{Si} =シリコン表面での再結合速度)

と考える必要がある。

- b) SOI 層表面再結合速度を下げるため、表面処理を行う必要がある。
c) SOI ウェーハの場合、SOI 層のライフタイムを測定するためには、SOI 層のみにキャリアが発生するような光源の波長を選ぶ必要がある。以下に波長と侵入深さ（光強度が $1/e$ に減衰する距離）の関係を示す。

波長 (nm)	侵入深さ (μm)
450	~ 0.8
532	~ 1.4
635	~ 3.0
670	~ 4.0
780	~10.0
820	~14.0
850	~18.0

- d) レーザでの注入キャリア濃度は、SOI 層と埋込酸化膜との界面での影響を可能な限り避ける場合は、SOI 層の不純物濃度より低い注入レベルが望ましい。

参考文献

- 1) **SEMI MF 1390** “Standard Test Method for Measuring Warp on Silicon Wafers by Automated Noncontact Scanning”
- 2) 95-基-18 多層集積技術動向に関する調査研究報告 IV, (II-25) (1995)
- 3) J.-P. Colinge, “Silicon-on-Insulator Technology”, Kluwer Academic Publisher, 1991
- 4) M. E. El-Ghazzawi, et.al., Thin Solid Films, 233 (1993) 218-222.
- 5) D. Bruggeman, Ann. Phys, Leipzig, 24 (1935) 636.
- 6) Opt. Spectrosc. (USSR) 43 (2), p.145 (1977)
- 7) **JIS K 6854-1, -2, -3, -4**
- 8) E. H. Nicollian and J. R. Brewes, “MOS Physics and Technology” p.477~489, 1982, JOHN WILEY & SONS (New York)
- 9) S. Masui et al., Proceedings 1994 IEEE International SOI Conference. p.83 (1994)
- 10) 渡辺, 辻, 石谷, 下野, 信学技報 SDM91-159 (1991)
- 11) 渡辺, 吉野, 小比木, 北島, 信学技報 SDM95-274 (1996)
- 12) 小館, 町出, 今井, 田中, 藪本, 信学技報 SDM95-275 (1996)
- 13) 小館, 町出, 今井, 田中, 藪本, 信学技報 SDM95-275 (1996)
- 14) **JEITA-53-1997** シリコンウェーハの反射マイクロ波光導電減衰法による再結合ライフタイム測定方法 (1997)

5 JEITA EM-3604A 審議委員会の構成表

シリコン技術専門委員会

委員長	金山 敏彦	独立行政法人 産業技術総合研究所
幹事	富山 智彦	ルネサスエレクトロニクス株式会社
	昌原 明植	独立行政法人 産業技術総合研究所
委員	宮下 守也	コバレントシリコン株式会社
	酒井 勲美	株式会社 SUMCO
	安富 敬三	信越半導体株式会社
	滝澤 律夫	ソニー株式会社
	齋藤 芳彦	株式会社 東芝
	立岩 健二	パナソニック株式会社
	丹羽 宏枝	富士通セミコンダクター株式会社
	小椋 厚志	明治大学
	井上 直久	東京農工大学
	藤本 俊幸	独立行政法人 産業技術総合研究所
顧問	田島 道夫	宇宙航空研究開発機構
客員	渡辺 正晴	日本セミラボ株式会社

SOI ウェーハ関連技術小委員会

主査	小椋 厚志	明治大学
委員	荒木 浩司	コバレントシリコン株式会社
	中井 哲弥	株式会社 SUMCO
	能登 宣彦	信越半導体株式会社
	藤木 悌之	ソニー株式会社
	富山 智彦	ルネサスエレクトロニクス株式会社

厚膜 SOI 標準見直し WG

主査	小椋 厚志	明治大学
委員	清水 達也	コバレントシリコン株式会社
	笠松 隆亮	株式会社 SUMCO
	富山 智彦	ルネサスエレクトロニクス株式会社
	能登 宣彦	信越半導体株式会社
オブザーバ	田中 靖士	株式会社 デンソー
	川井 文彰	トヨタ自動車株式会社

一般社団法人 電子情報技術産業協会が発行している規格類は、工業所有権（特許，実用新案など）に関する抵触の有無に関係なく制定されています。

一般社団法人 電子情報技術産業協会は、この規格類の内容に関する工業所有権に係る確認について、責任はもちません。

JEITA EM-3604A

2013 年 3 月発行

発行 一般社団法人 電子情報技術産業協会 電子デバイス部
〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-1-3
TEL 03-5218-1061 FAX 03-5218-1080

印刷 株式会社 オガタ印刷
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 1-5-6
TEL 03-3264-3456

禁 無 断 転 載

（この規格類の全部又は一部を転載しようとする場合は、発行者の許可を得て下さい。）