

JEITA

電子情報技術産業協会規格

Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

JEITA EM-3509

表面光起電力法によるシリコンウェーハの
少数キャリア拡散長測定のための
試料の前処理法

**Sample preparation method for minority carrier diffusion length
measurement in silicon wafers by surface photovoltage method**

2005年7月制定
2016年3月廃止

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。

作 成

シリコン技術委員会
Silicon Technologies Committee

電子材料標準化委員会
Technical Standardization Committee on Electronic Materials

発 行

社団法人 電子情報技術産業協会

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

目 次

1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	1
4 安全に関する注意	1
5 前処理法の概略	2
5.1 p型シリコンウェーハ	2
5.2 n型シリコンウェーハ	2
6 環境	2
7 試料	2
8 薬品など	2
8.1 超純水	2
8.2 フッ化水素酸	2
8.3 過酸化水素水	2
9 装置	2
9.1 酸による表面処理装置	2
9.2 ホットプレート	3
9.3 アルミニウム板	3
10 前処理の手順	3
10.1 p型シリコンウェーハ	3
10.2 n型シリコンウェーハ	4
11 記録	4
附属書 A (参考) 表面光起電力法によるシリコンウェーハの少数キャリア 拡散長測定のための試料の前処理法のラウンドロビン	5
解説	14

電子情報技術産業協会規格

表面光起電力法によるシリコンウェーハの
少数キャリア拡散長測定のための試料の前処理法
**Sample preparation method for minority carrier diffusion length
measurement in silicon wafers by surface photovoltage method**

1 適用範囲

この規格は、表面光起電力法を用いてシリコンウェーハの少数キャリア拡散長法を測定する場合の、試料の前処理法を規定する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

ISO 14644-1	Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness
SEMI C28-0704	Specifications and Guidelines for Hydrofluoric Acid
SEMI C30-1101	Specifications and Guidelines for Hydrogen Peroxide

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次による。

3.1**表面光起電力**

光の照射によって試料表面に生じる静電ポテンシャルの変化。

3.2**少数キャリア拡散長**

半導体中の少数キャリアがその寿命の間に拡散する距離。

3.3**Fe-B 対**

B をドーパントとする p 型シリコン中において、Fe ドナーとアクセプターである B とが結びついて形成する対。

4 安全に関する注意

この規格では、フッ化水素酸・過酸化水素水を表面処理に使用する。これらの薬品は人体に有害であるため、局所排気機能を有する装置内で、細心の注意を払いながら取り扱わなければならない。危険対策及び被災時の処置を熟知しない者はこれを取り扱ってはならない。また、この規格には、試料を加熱する工程が含まれており、火傷の対策が必要になる。

適切な安全及び健康対策は、すべて、この規格の使用者の責任において講じられなければならない。

5 前処理法の概略

5.1 p型シリコンウェーハ

高温酸化又は CVD で成長した酸化膜，若しくは SC1 洗浄などで化学的に成長した酸化膜をフッ化水素酸水溶液で除去した後，クリーンルーム大気中で次の 2 段階の熱処理を行う。まず，210 °C，5 分の熱処理で酸化膜を成長させる。この熱処理によってウェーハ中の Fe-B 対が分解するので，80 °C，30 分の 2 段階目の熱処理によって，Fe-B 対を再結合させる。

5.2 n型シリコンウェーハ

高温酸化又は CVD で成長した酸化膜，若しくは SC1 洗浄などで化学的に成長した酸化膜をフッ化水素酸水溶液で除去した後，70 °C から 80 °C の過酸化水素水に浸漬し，化学的に酸化膜を成長させる。この処理の後，100 時間以上大気中に放置する。

6 環境

温度 (23±3) °C，相対湿度 30 % から 70 % のクリーンルーム内で処理を行う。クリーンルームのグレードは，ISO 14644-1 に規定された Class 4 以上とする。

7 試料

p 型又は n 型の単結晶シリコンウェーハであって、おもて面が鏡面仕上げでなければならない。高温酸化又は CVD で成長した酸化膜を表面に有するものであってもよい。ラップウェーハ及びスライスウェーハを試料とする場合は，この規格で規定する前処理に先立ち，エッチング又は鏡面研磨によって，表面の機械的ダメージ層を除去しておかなければならない。p 型試料の場合は，Fe 濃度が $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 以下でなければならない。

8 薬品など

8.1 超純水

水温 25 °C のときの比抵抗が，18 M Ω · cm 以上とする。

8.2 フッ化水素酸

フッ化水素濃度 48.8 % から 50.2 %。その他の仕様は，SEMI C28-0704 でガイドラインが示されている，VLSI グレード相当のもの。

8.3 過酸化水素水

過酸化水素濃度 30 % から 32 %。その他の仕様は，SEMI C30-1101 でガイドラインが示されている，VLSI グレード相当のもの。

9 装置

9.1 酸による表面処理装置

p 型試料の前処理の場合には，フッ化水素酸水溶液による酸化膜除去，超純水によるリンス，及び乾燥を，室温で行う機能を有する装置を使用する。

n 型試料の前処理には，フッ化水素酸による酸化膜除去，超純水によるリンス，及び乾燥を室温で行う機能並びに 70 °C から 80 °C に加熱された過酸化水素水による表面処理を行う機能を有することが必要であり，薬液を加温するためのヒーターは，コントローラーによって温度を制御できるものを使用する。☒

1に表面処理装置のレイアウトの例を示す。

9.2 ホットプレート

p型試料の前処理において、フッ化水素酸水溶液処理の後に、2段階の熱処理のために使用する。1段階目の熱処理では、試料温度を急速に210℃にまで昇温することが必要となるため、通常、ホットプレートを用いる。試料を210℃、80℃に加熱する機能を有しなければならない。試料に対するホットプレートからの金属汚染を防ぐ措置を講じなければならない。そのためには、ホットプレートと試料となるウェーハの間に、清浄なシリコンウェーハ又はテフロンシートを下敷きとして介するとよい。2段階目の80℃の熱処理には、昇温及び冷却速度に制限がないので、恒温槽を用いてもよい。

9.3 アルミニウム板

p型試料の前処理における210℃の加熱後、試料を室温に急冷するために使用する。試料の裏面全面に接触する広い面積であって、厚さが1cm以上のもの。

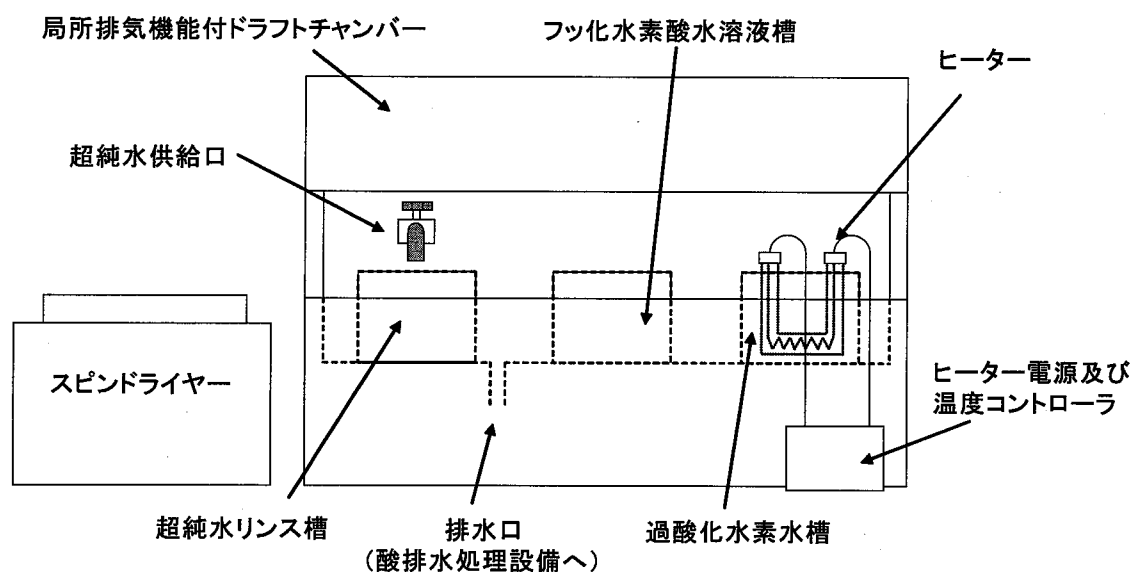


図1—酸による表面処理装置のレイアウトの例

10 前処理の手順

10.1 p型シリコンウェーハ

10.1.1 超純水で5%に希釈したフッ化水素酸水溶液¹⁾に試料を浸漬し、表面の酸化膜を除去する。浸漬時間は、酸化膜の厚さに応じて調節する。続いて、超純水で10分間リンスした後、乾燥させる。これらの処理は室温で行う。

注¹⁾ 試料の酸化膜を十分に除去できるのであれば、異なる濃度であってもよい。ただし、記録と報告が必要である。

10.1.2 加熱時の試料温度が210℃になるよう、あらかじめ温度設定しておいたホットプレートに載せて、試料を加熱する。加熱時間は5分とする。熱処理後、速やかに試料をアルミニウム板に接触させて室温に急冷する。

注記 1段階目の熱処理は、より低い温度、より長時間の条件で行うこともでき、また、室温までの冷却は徐冷で行うこともできる。ただし、1段階目の熱処理の条件が210℃、5分、室温まで

の急冷の場合と比較し、SPV 測定による少数キャリア拡散長と Fe 濃度の測定値が良く一致することを、あらかじめ確認してから行う必要がある。また、記録と報告が必要である。

10.1.3 続いて、クリーンルーム大気中で、ホットプレート²⁾にて試料を加熱する。加熱温度及び時間は、それぞれ 80 °C、30 分とする。

注²⁾ 9.2 参照

10.1.4 試料を室温に冷却する。測定前までの間は、クリーンルーム大気に暴露させておかなければならない。

10.2 n 型シリコンウェーハ

10.2.1 超純水で 5 %に希釈したフッ化水素酸水溶液³⁾に試料を浸漬し、表面の酸化膜を除去する。浸漬時間は、酸化膜の厚さに応じて調節する。続いて、超純水で 10 分間リンスした後、乾燥させる⁴⁾。これらの処理は室温で行う。

注³⁾ 試料表面の酸化膜を十分に除去できるのであれば、異なる濃度であってもよい。ただし、記録と報告が必要である

注⁴⁾ **10.2.2** の処理を連続して行う場合は、乾燥を省略してもよい。

10.2.2 70 °Cから 80 °Cの過酸化水素水で 10 分間浸漬する。この過酸化水素水は希釈していないものを使用する。続いて、超純水で 10 分間リンスし、乾燥させる。リンスと乾燥は室温で行う。

注記 **10.2.1** 及び **10.2.2** を連続して行う場合は、**10.2.1** の乾燥を省略してもよい。

10.2.3 クリーンルーム大気中に暴露させるか、又は、シリコンウェーハの出荷容器内に保管して、室温で 100 時間以上放置する。

11 記録

次の情報を付記する。

- a) 実施日時, 温度, 湿度
- b) 実施場所及び使用した設備
- c) フッ化水素酸水溶液の濃度, 浸漬時間
- d) n 型試料の前処理の場合は, 過酸化水素水の温度

附属書 A

(参考)

表面光起電力法によるシリコンウェーハの少数キャリア 拡散長測定のための試料の前処理法のラウンドロビン

A.1 目的

適切な前処理条件及び前処理の機関間ばらつきを把握することを目的とする。

A.2 実験

A.2.1 試料仕様

ラウンドロビンには、表 A.1 に示した、直径 200 mm、面方位 (100) の CZ シリコンウェーハを使用した。表面の初期化のために、機関 B にて全ての試料に対して SC1 洗浄を行った後に、ラウンドロビン参加の各機関に発送した。

表 A.1—ラウンドロビンで使用した試料

	Conductivity type	Resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Annealing
p-PW-L	p	1.8	No
p-PW-M	p	10	No
p-PW-H	p	20	No
p-H-M	p	10	Hydrogen
p-Ar-M	p	10	Argon
n-PW-L	n	1.5	No
n-PW-M	n	7	No
n-PW-H	n	9	No

A.2.2 実験手順

A.2.2.1 p 型試料

次の a) から d) の順序で異なる前処理を行い、その都度、それぞれの表面状態で SPV 法によって少数キャリア拡散長を測定した。a) と b) 又は c) の比較によって、従来前処理やこの規格で規定した方法の、SC1 洗浄に対する優位性を確認し、また、b) と c) を比較することによって、従来法とこの規格で規定した方法とで少数キャリア拡散長を比較し、更に、b) と d) を比較することで、c) の方法における熱処理が、試料内部をどの程度変化させ得るか確認することを企図した。

- a) **as-received** 機関 B にて SC1 洗浄を行った試料に対して少数キャリア拡散長測定した。
- b) **従来法 (1 回目)** 5 % のフッ化水素酸水溶液に 2 分間試料を浸漬後、超純水で 10 分間リンスした後にスピンドライヤーで乾燥した。24 時間クリーンルーム大気に暴露させて放置した後に、少数キャリア拡散長測定した。
- c) **HF+2 段熱処理** 5 % のフッ化水素酸水溶液に 2 分間試料を浸漬後、超純水で 10 分間リンスした後にスピンドライヤーで乾燥した。その後、ホットプレートで [210 °C, 5 分] + [80 °C, 30 分] の 2

段階熱処理をクリーンルーム大気中で行った。1 段階目の熱処理の終了時は、室温のアルミニウム板に試料を接触させて急冷するか、又は、1 段階目の熱処理と 2 段階目の熱処理を別々のホットプレートで行うために 2 台のホットプレートを隣接させて配置し、数秒で 2 段階目の熱処理に移るようにした。2 段階目の熱処理の後には、室温のアルミニウム板に試料を接触させて急冷した。この処理の直後に、少数キャリア拡散長測定した。

- d) 従来法 (2 回目)** 5 % のフッ化水素酸水溶液に 2 分間試料を浸漬後、超純水で 10 分間リンスした後にスピンドライヤーで乾燥した。24 時間クリーンルーム大気に暴露させて放置した後に少数キャリア拡散長測定した。

A.2.2.2 n 型試料

次の **a)** から **d)** の 4 とおりの異なる表面状態において、少数キャリア拡散長を測定した。**a)** と **b) ~ d)** の比較から、過酸化水素水による煮沸の SC1 洗浄に対する優位性を確認し、また、**b)**, **c)**, **d)** を比較することによって、適正な放置時間を把握することを企図した。

- a) as-received** SC1 を機関 B にて行った試料で少数キャリア拡散長測定した。
- b) H₂O₂** 温度 70 °C から 80 °C、濃度 30 % の過酸化水素水で 10 分間試料を煮沸し、水素水で 10 分間試料を過酸化水素超純水で 10 分間リンスした後にスピンドライヤーで乾燥した。その直後に SPV 法で少数キャリア拡散長を測定した。
- c) H₂O₂+48 時間放置** **b)** の後、シリコンウェーハの出荷容器内に収納し、これをクリーンルーム中で 48 時間保管した後に、少数キャリア拡散長を測定した。
- d) H₂O₂+100 時間放置** **c)** の後、シリコンウェーハの出荷容器内に収納し、これをクリーンルーム中で 100 時間保管した後に、少数キャリア拡散長を測定した。

A.2.3 測定条件

SPV 法による少数キャリア拡散長測定は、SEMI-MF-391-02 に規定された方法のうちの、Linear Photovoltage, Constant Photon Flux (LPVCPF) 法で行った。測定条件の詳細は次の **a)** から **d)** のとおりである。

- a) 入射光の波長** 0.8 μm から 1.0 μm の 7 とおり
- b) ロックインアンプ時定数** 100 ms
- c) 少数キャリア拡散長測定値へのウェーハ厚の影響の補正** なし
- d) 測定点** 各水準 1 枚のウェーハの面内 5 点 (図 A.1 参照)

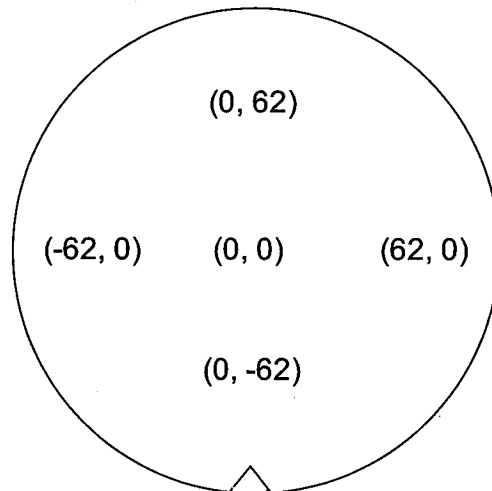


図 A.1—ラウンドロビンでの少数キャリア拡散長の測定点

A.2.4 前処理及び測定の実施時期に関する記録

平成 16 年 10 月 20 日、機関 B にて全ての試料を SC1 洗浄で初期化した後、各水準 1 枚ずつ (p 型 : 5 水準×1 枚=5 枚, n 型 : 3 水準×1 枚=3 枚) をラウンドロビン参加の各機関に発送した。各機関における実験は並行して行われたが、実施時期は、平成 16 年 10 月 29 日から 12 月 25 日の間で、機関毎に少しずつ異なる。結果として、n 型の “as-received” の試料において、SC1 後の経時変化に起因すると思われる機関間ばらつきが見られているが、詳細は後述する。

A.3 参加機関

ラウンドロビンには次の a) 及び b) の機関が参加した (五十音順)。

- a) p 型試料の実験 エム・イー・エム・シー(株), コマツ電子金属(株), 信越半導体(株), 東芝セラミックス(株), 三菱住友シリコン(株)
- b) n 型試料の実験 エム・イー・エム・シー(株), コマツ電子金属(株), 信越半導体(株), 東芝セラミックス(株)

A.4 ラウンドロビンの結果

A.4.1 p 型試料の実験

測定データの一部から、LPVCPF 法で使った、最も波長の短い光 ($0.8 \mu\text{m}$) に対応する SPV 信号を図 A.2 に示す。全般的に見て、SC1 洗浄後の as-received の試料に比べ、従来法及び HF+2 段熱処理の方が、SPV 信号が大きくなっていった。しかし、機関 E においては、従来法での処理後の試料で、SPV 信号が極めて小さく、結果として、少数キャリア拡散長が測定不可となる測定点が多く見られた。

SPV から求めた少数キャリア拡散長測定値を、図 A.3 に、試料の水準毎に示した。ここでは、面内 5 点の平均値をプロットしてある。 $\Phi_{\text{eff}}/\Delta V$ と α^{-1} との関係を一次直線に回帰する際に相関係数が悪い ($R^2 < 0.98$) と、少数キャリア拡散長が測定不可となるが、面内 5 点測定のうち、1 点でも測定不可の点があった試料は、(U.D.) として表してある。上述のとおり、機関 E の従来法での処理後の測定結果において、(U.D.) が頻発しており、また、機関 B の測定においても、一部が (U.D.) となった。このことは、従来法における 24 時間室温放置では不十分な場合が、しばしばであることを意味する。

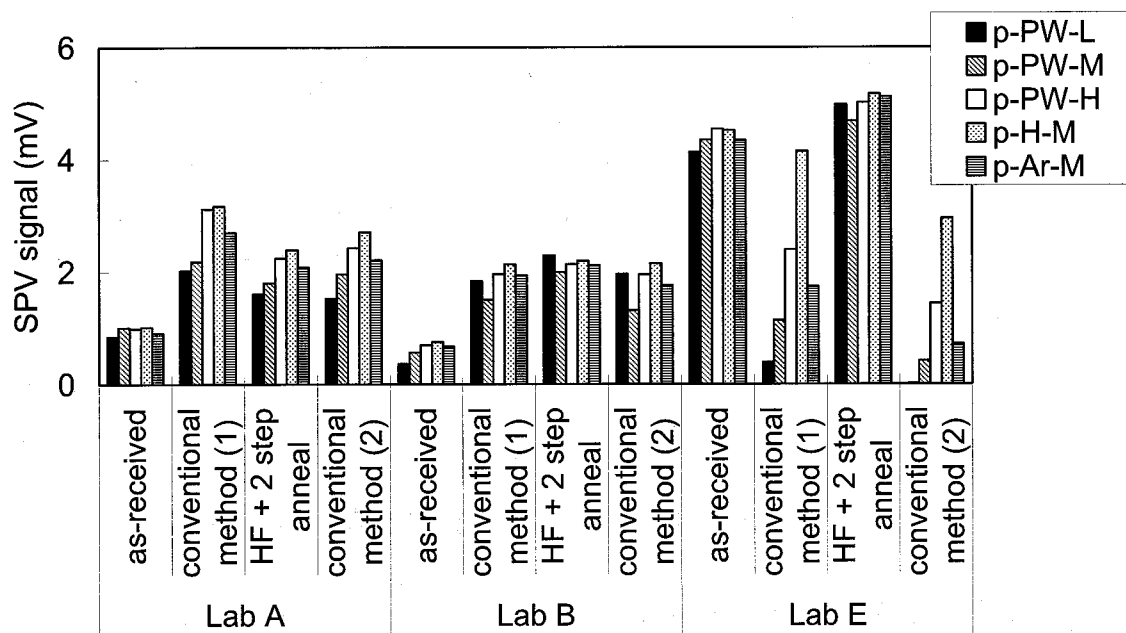


図 A.2—p 型試料の各表面処理後の SPV 信号（ウェーハ中心）。入射光波長=0.8 μm

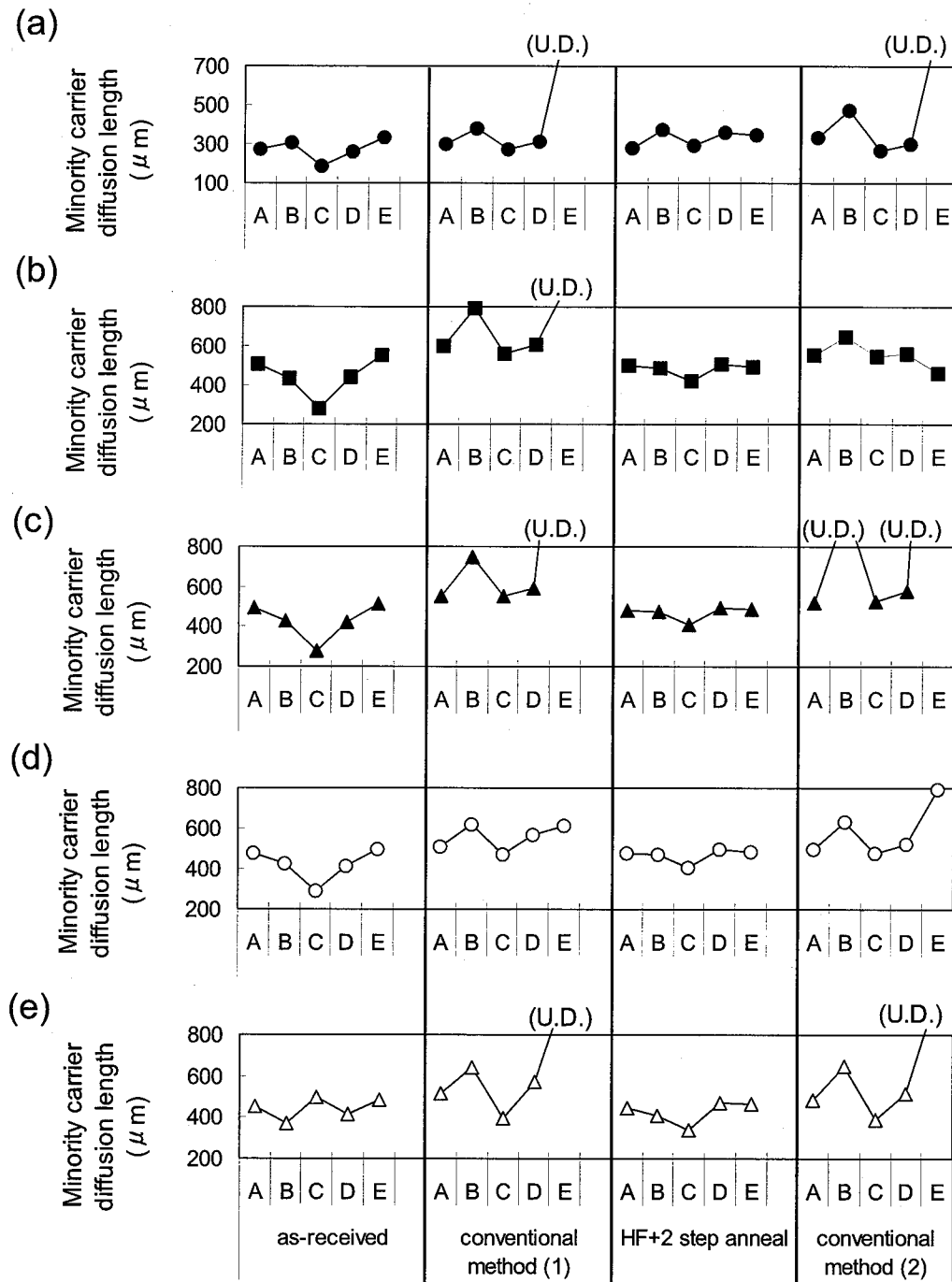


図 A.3—各表面処理後の少数キャリア拡散長測定値。面内 5 点の平均。

(a) p-PW-L (b) p-PW-M (c) p-PW-H (d) p-H-M (e) p-Ar-M

as-received の試料と、HF+2 段熱処理後の少数キャリア拡散長の機関間ばらつきを図 A.4 に示す。ここでは U.D. が頻繁に見られた従来法についてはデータ化していない。As-received の試料においては、SPV 信号が小さいことに対応して、機関間ばらつきが大きい。HF+2 段熱処理の場合の機関間の CV 値は 13 % 以内だった。この値は、別々の測定器を使用したことや、ウェーハ間ばらつきに起因するばらつきも含んでいる。

HF+2 段熱処理の前処理法における熱処理によって、試料内部がどの程度変化するか確認するために、ラウンドロビンのデータのうちの、従来法（1回目）の後の少数キャリア拡散長と従来法（2回目）の後の少数キャリア拡散長を比較した結果を、**図 A.5** に示す。ここでは、(U.D.) が見られた機関 B 及び機関 E のデータは外してある。両者には良い相関があるが、従来法（2回目）の方が、少数キャリア拡散長がわずかに短くなっており、平均で、約 4 % 変化していた。

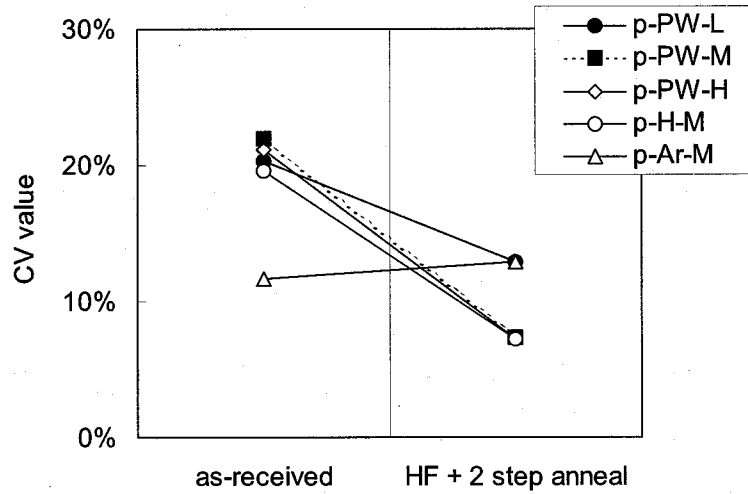


図 A.4—as-received 試料及び HF+2 段熱処理後の少数キャリア拡散長の機関間ばらつき

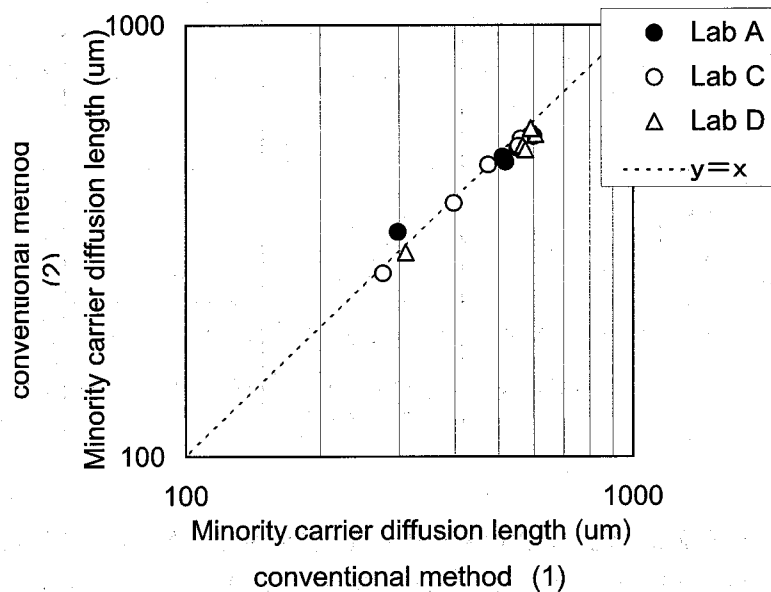


図 A.5—従来法（1回目）と従来法（2回目）との少数キャリア拡散長の比較。

各プロットは、試料面内 5 点の平均値。

次に、従来法（1回目）と HF+2 段熱処理との間での少数キャリア拡散長の比較を**図 A.6** に示す。従来法（1回目）の後の測定値を分母に、HF+2 段熱処理の後の測定値を分子として比をとった。機関 B 及び

機関 E については、従来法（2 回目）の後、更に 1 月経過後の試料の測定値を分母にとってある。従来法と HF+2 段熱処理の違いは、全体的には 20 %内外に収まっている。p-PW-L を除き、HF+2 段熱処理後の少数キャリア拡散長が短くなっていることについては、HF から放置時間が 24 時間を経過して以降も、わずかながら少数キャリア拡散長測定値が変化し続けることによると思われる。

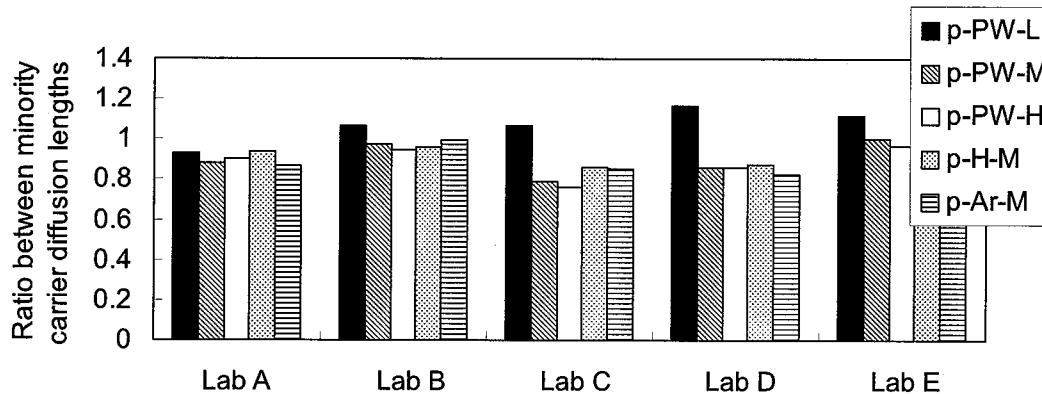


図 A.6—従来法（1 回目）と HF+2 段熱処理との間の少数キャリア拡散長の比較。

機関 B, E だけ従来法（2 回目）から 1 月経過後の試料の測定値と HF+2 段熱処理後の測定値の比をとってある。

A.4.2 n 型試料の実験

測定データの一部から、LPVCPF 法で使った、最も波長の短い光（0.8 μm ）に対応する SPV 信号を図 A.7 に示す。過酸化水素処理後の放置時間が長くなるにつれて、SPV 信号が大きくなる。as-received の試料は、機関によって、試験した水準の中で最大の信号強度であったり、逆に最小であったり、まちまちだったが、これは、試料配布前に行われた SC1 洗浄から測定までの間の機関に対応している。例えば、機関 E では、12 日間だったが、これに対し、機関 B 及び機関 D では、47 日間の間隔があった。過酸化水素水処理の場合と類似した経時変化によるものと思われる。

図 A.8 に、SPV から求めた少数キャリア拡散長測定値を、図 A.8 に、試料の水準毎に示した。面内 5 点の平均値をプロットしてある。ここでも、相関係数が $R^2 < 0.98$ の測定点が 1 点でもあった試料派、(U.D.) として示した。As-received の試料において U.D. となる測定点が見られた。上述のとおり、SC1 洗浄から測定までの間隔が短く、SPV 信号が小さいことに対応している。過酸化水素水処理から 100 時間放置後で、ようやく、U.D. となる点が出なくなる。

過酸化水素水処理+100 時間放置の場合の機関間ばらつきを図 A.9 に示す。機関間の CV 値は 13 % 以内だった。この値は、別々の測定器を使用したことや、ウェーハ間ばらつきに起因するばらつきも含んでいる。

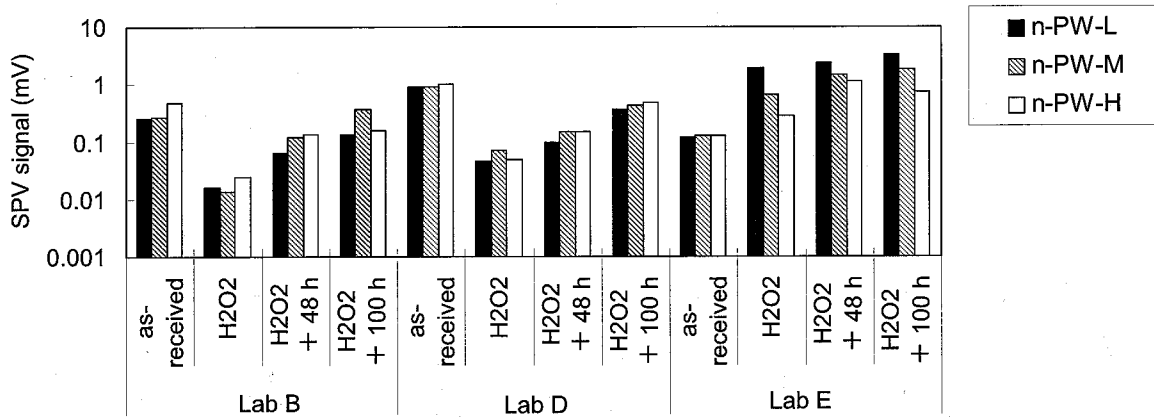


図 A.7—n 型試料の各表面処理後の SPV 信号（ウェーハ中心）。入射光波長=0.8 μm

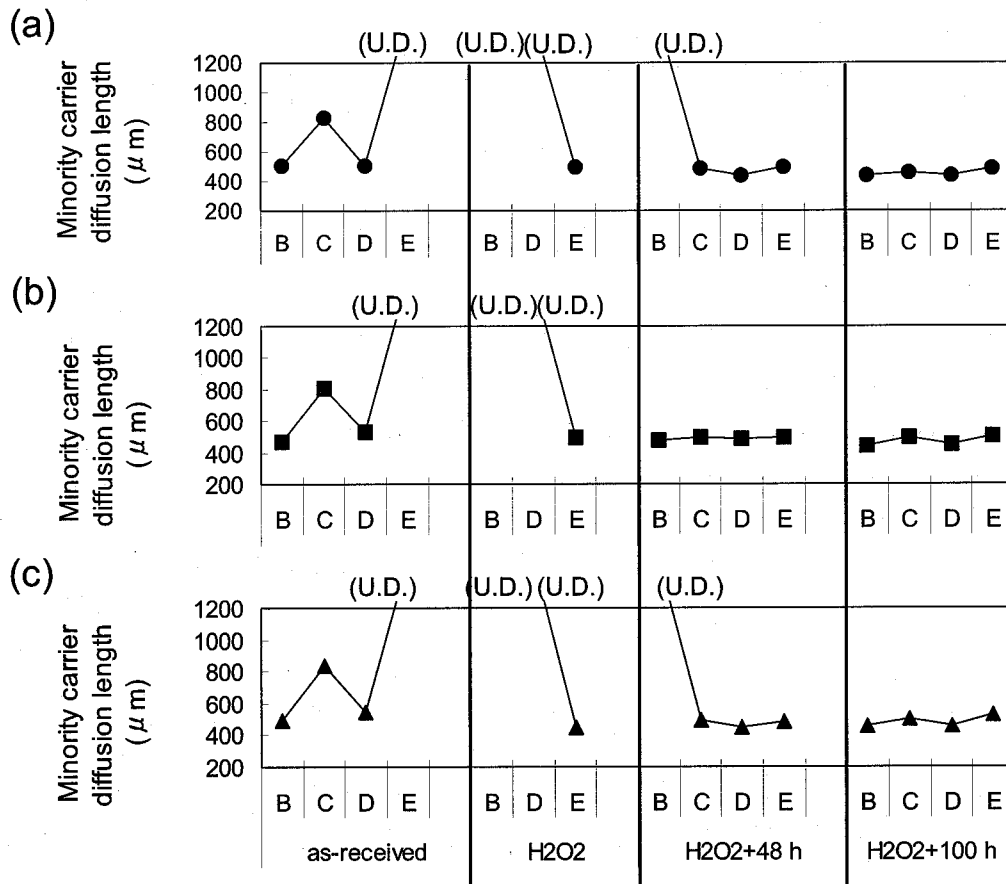


図 A.8—n 型試料の各表面処理後の少数キャリア拡散長測定値（面内 5 点の平均）。

(a) n-PW-L (b) n-PW-M (c) n-PW-H

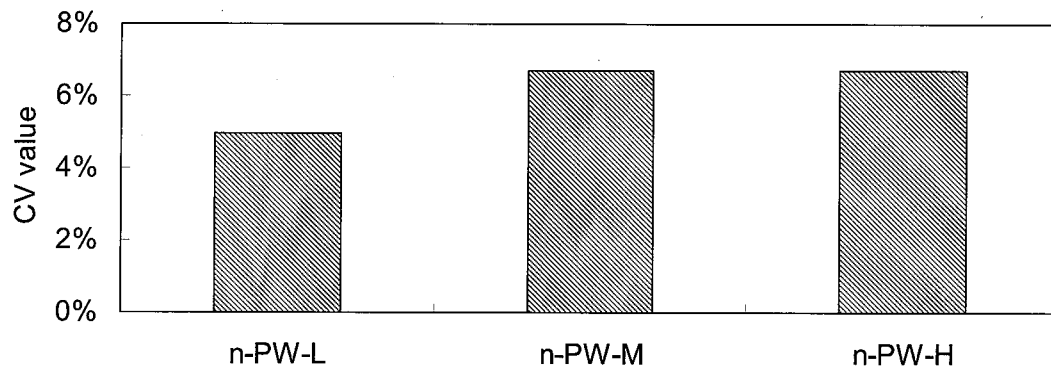


図 A.9— as-received 試料及び H_2O_2 + 100 時間放置後の少数キャリア拡散長の機関間ばらつき

表面光起電力法によるシリコンウェーハの少数キャリア 拡散長測定のための試料の前処理法の解説

この解説は、本体及び附属書に規定・記載した事柄、並びに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

1 制定の背景

半導体素子の微細化及び高集積化に伴い、素子製造プロセス及び基板材料であるシリコンウェーハ中の、金属汚染の低減が求められてきた。従来から、シリコンウェーハ内部の金属汚染を評価する方法のひとつとして、Surface Photovoltage (SPV) 法による少数キャリア拡散長測定が広く利用されてきた。しかし、SPV 法は試料の表面状態の影響を受けやすく、測定前の試料の表面処理がしばしば必要になる。また、表面処理後に経時変化があり、表面が安定するまで試料を放置しなければならない、という問題があり、放置時間を短縮した、安定的な前処理法の標準化が求められた。

2 制定の経過

平成 15 年 4 月、当協会のウェーハ測定標準化専門委員会に、SPV 法の前処理標準化ワーキンググループが設置され、次の 3 段階の活動を経て標準化を行うことが計画された。

- (1) ワーキンググループ参加機関に対するアンケートと、テストによる従来の前処理法の問題点の洗い出し
- (2) 前処理後の放置時間を短縮するための方法の検討
- (3) (2) の検討で得られた方法のラウンドロビンを行い、機関間のばらつきを把握

これらの活動に基づいて規格案が作成され、シリコン技術委員会及びウェーハ測定標準専門委員会の書面審議を経て、平成 17 年 7 月に制定された。

3 工業所有権等に関する取扱い

この規格に関して、附属書 A (参考) に掲載された 2.3 測定条件の LPVCPF 法は、SDI 社の特許が成立している旨の意思表示がなされている。

出願番号：特願平 1-217186

公開番号：特開平 2-119236

公告番号：特公平 7-44209

なお、前記以外に工業所有権等がないことを保証しているものではない。また、JEITA は、この規格の内容に関する工業所有権等に対して、一切責任を負わない。

4 原理

4.1 SPV 法による少数キャリア拡散長の測定

SPV 法では、光照射によって過剰キャリアを注入し、それに対応して生じる表面電位の変化（光表面起電力）から、少数キャリアの拡散長を求める。その手順は、SEMI MF391-02^[1] で規定されており、数と

おりの異なる波長の単色光を入射し、それぞれの波長の入射光に対応して発生する SPV 信号 ΔV と、入射光に対する Si 吸収係数 α との関係から、少数キャリア拡散長 L を求めている。原理的には (1) 式の関係がある。

$$\Phi_{\text{eff}}/\Delta V = A(S+D/L)(1+L/\alpha) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 Φ_{eff} は実効的な光の入射量、 ΔV は SPV 信号の強度、 S は表面再結合速度、 D は少数キャリアの拡散係数である。ただし、表面が空乏状態のときは

$$A = (qn_0/kT) \exp(qV/kT) \cdots \cdots (2)$$

表面状態が反転状態のときは

$$A = qn_i^2 / (kTn_0) \cdots \cdots (3)$$

となる。ここで、 q は電子の電荷量、 n_0 は非照射下のバルクの自由キャリア密度、 k はボルツマン定数、 V は表面障壁高さ、 n_i は真性自由キャリア密度である^[2]。(1) 式から分かるとおり、 $\Phi_{\text{eff}}/\Delta V$ と α^{-1} との関係を一変直線に回帰することができ、この回帰直線から、少数キャリア拡散長を求める。

SPV 法による少数キャリア拡散長測定は、B ドープの p 型シリコンウェーハ中の Fe 濃度の測定にも使われている。室温の B ドープの p 型シリコン中では、Fe は Fe-B 対を形成している。約 200 °C の加熱又は強い光の照射（以下、Fe の活性化と呼ぶ。）によって、格子間 Fe ドナーと置換型 B に解離する。活性化の前後で少数キャリア拡散長が変化することを利用し、式 (4) で Fe 濃度を計算できることが、Zoth, Bergholz によって示された^[3]。

$$[\text{Fe}] = (D_n/f) \times (C_n(\text{Fei}) - C_n(\text{FeB}) / \exp[E_F - 0.1\text{eV}/kT])^{-1} \times (L_1^2 - L_0^2) \cdots \cdots (4)$$

ここで、 $[\text{Fe}]$ の単位は (/cm³) であり、 L_0 は Fe の活性化の前の少数キャリア拡散長、 L_1 は Fe の活性化の後の少数キャリア拡散長で、 L_0, L_1 の単位は μm である。 D_n は電子の拡散係数、 E_F は試料のフェルミ準位である。 f は、Fe の活性化によって解離した Fe-B 対の割合、 $C_n(\text{Fei})$ 、 $C_n(\text{FeB})$ は、それぞれ格子間 Fe と Fe-B 対の電子に対する捕獲率である。

注記 式 (4) において、Zoth らは、Fe-B 対が形成する二つの準位 ($E_V + 0.1\text{eV}$ 、 $E_C - 0.29\text{eV}$) のうちの、 $E_V + 0.1\text{eV}$ が支配的な再結合としてはたらくことを前提としているが、この二つの準位が、それぞれ、少数キャリア拡散長にいかに関与するかについては、今日でも議論が分かれている^[4]。しかし、実験的には、 $(D_n/f) \times (C_n(\text{Fei}) - C_n(\text{FeB}) / \exp[E_F - 0.1\text{eV}/kT])^{-1}$ は 1×10^{16} 近辺の値をとることが知られている。

4.2 従来の前処理法の問題点

SPV 法では、試料表面に空乏層又は反転層が生じている必要があり、空乏層又は反転層は、p 型の場合は正電荷、n 型の場合は負の電荷が試料表面に存在することによって形成される。そのため、従来から、p 型にはフッ化水素酸による表面処理、n 型の場合は過酸化水素水中での煮沸が行われてきた^[1]。しかし、これらの方法では、処理後の試料表面に経時変化が現れるため、SPV 測定を精度良く行うためには、しばらく試料を放置しなければならない、という問題が経験的に知られていた。

ワーキンググループにて、SPV 信号と、少数キャリア拡散長の測定結果の経時変化を確認する試験を行った。附属書の表 A.1 に示した、直径 200 mm、面方位 (100) の CZ シリコンウェーハに対して、解説表 1 の条件で表面処理を行った後、接触電位差測定による表面障壁高さの評価^[5]と、SPV 法による少数キャリア拡散長の測定を行い、経時変化を調べた。SPV 法による少数キャリア拡散長測定は、SEMI MF391-02 に規定された方法のうちの、Linear Photovoltage, Constant Photon Flux (LPVCPF) 法で行われた。ここでは、波長が 0.8 μm から 1.0 μm の範囲の 7 とおりの入射光を使っている。また、少数キャリア拡散長測定値へのウェーハ厚の影響の補正は行っていない。

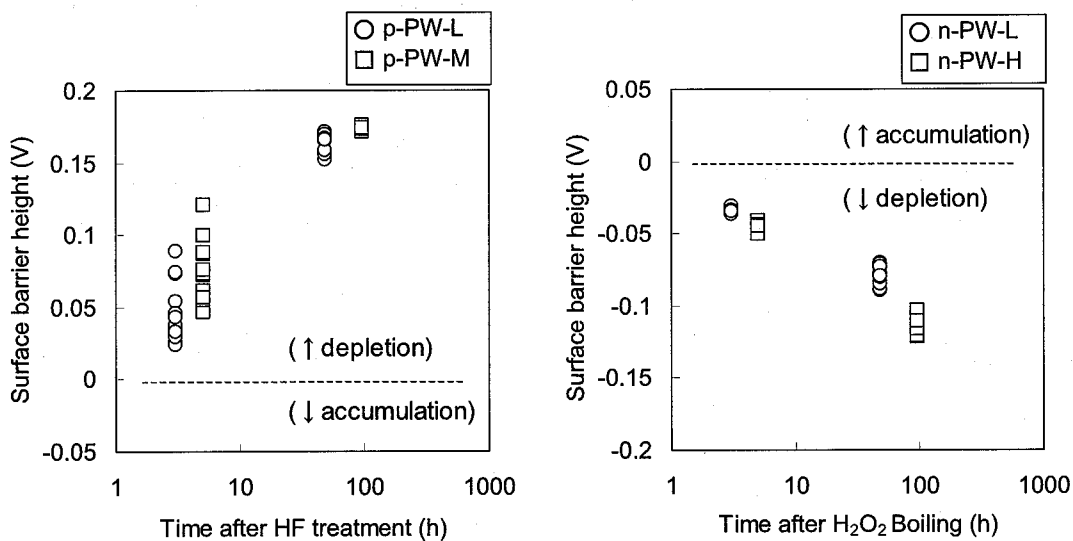
測定と測定との間は、シリコンウェーハの出荷容器内に保管した。保管はクリーンルーム内で行うものとし、室温 23 °C から 25 °C，相対湿度 40 % だった。

解説表 1—従来法の問題点を把握する試験での前処理条件

	Surface treatment sequence	Drying
P type	HF (5%), room temp., 2min. →UPW rinse, room temp., 10min.	Spin-dryer
N type	HF (5%), room temp., 2min. →UPW rinse, room temp., 10min →H ₂ O ₂ (30%), 70-80 °C, 10min. →UPW rinse, room temp., 10min.	Spin-dryer

解説図 1 に、ウェーハ面内 13 点の表面障壁高さの測定結果を示す。p 型 n 型ともに、表面処理直後から数時間後では障壁が低く、殊に p 型の場合は面内のばらつきが大きい。

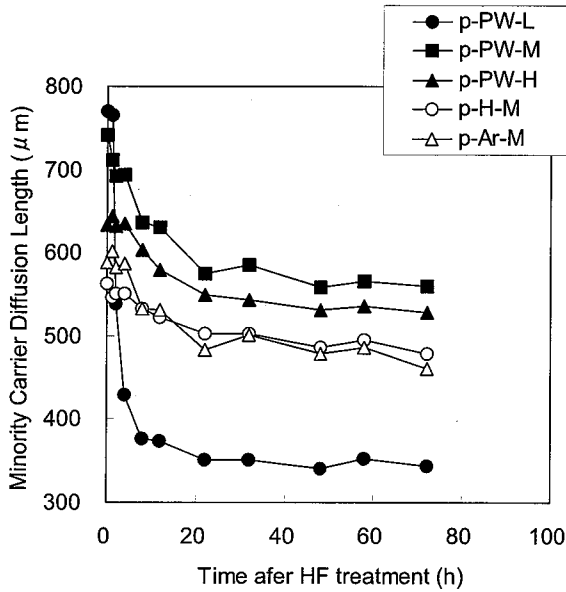
p 型試料をフッ化水素酸水溶液で処理した後に見られる、少数キャリア拡散長の面内 5 点の平均値と、面内 5 点のバラつき (CV 値) の経時変化を 3 機関で調査した結果を、解説図 2 及び解説図 3 に示す。表面処理直後は、少数キャリア拡散長の測定値が急激に変化し、約 1 日経過して安定してくる。面内バラつきも時間を経るに従って小さくなり、約 1 日で安定する。この経時変化は、試験を実施した全 3 機関で確認された。p 型試料の表面処理及び放置は、全て室温で行われたため、少数キャリア拡散長・ばらつきの変化は、試料内部で起こっているものとは考え難く、表面状態の変化に起因する見かけ上の変化と思われる。



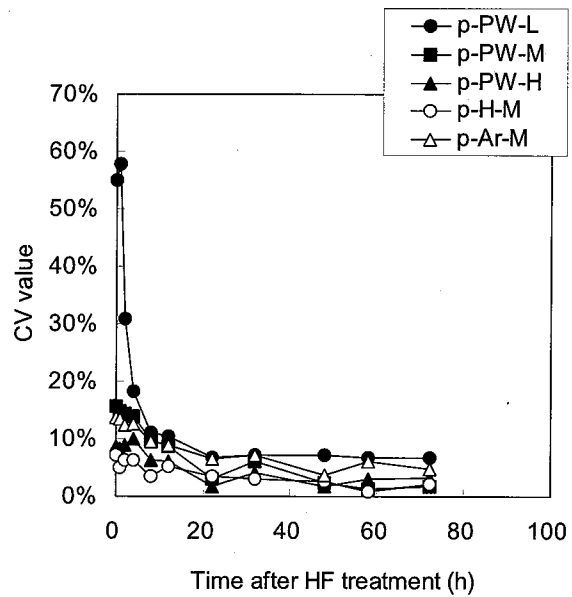
(a) p 型試料

(b) n 型試料

解説図 1—表面処理後の表面障壁高さの経時変化

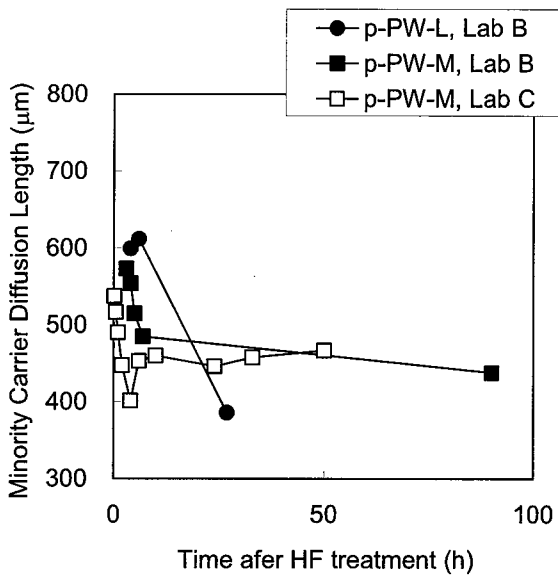


(a) 面内 5 点の平均値

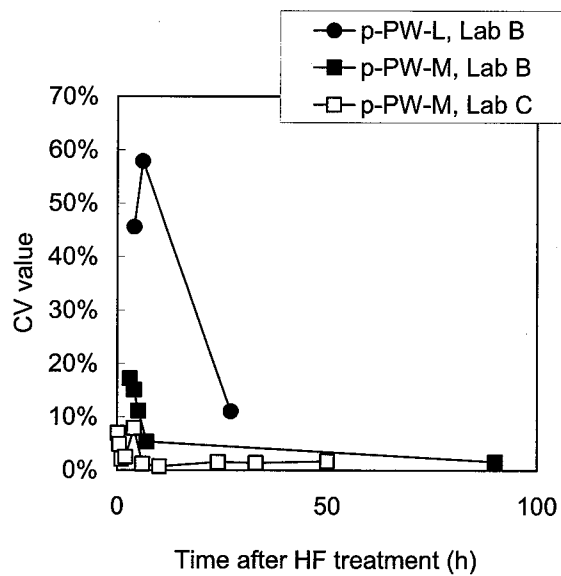


(b) 面内 5 点のばらつき (CV 値)

解説図 2—機関 A での少数キャリア拡散長の経時変化調査の結果



(a) 面内 5 点の平均値



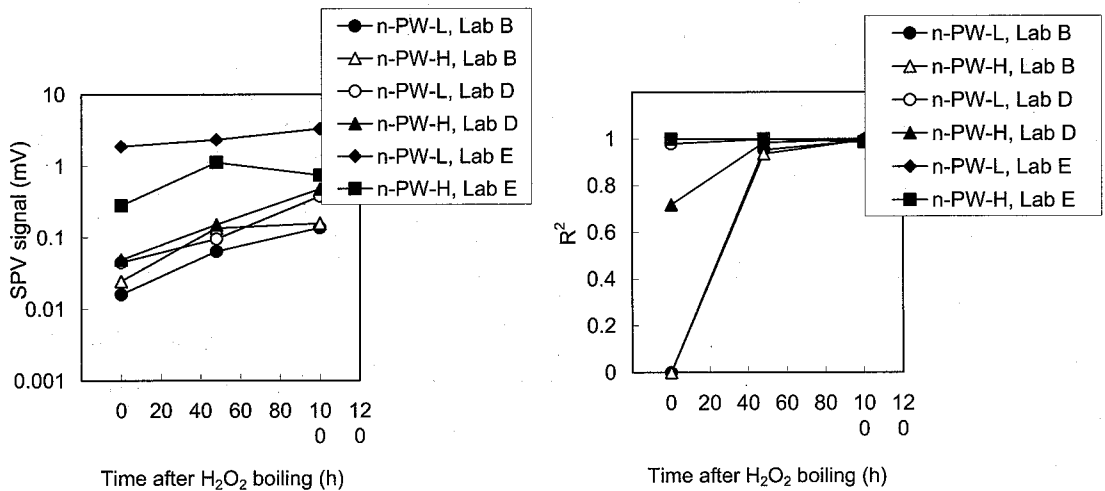
(b) 面内 5 点のばらつき (CV 値)

解説図 3—機関 B 及び機関 C での少数キャリア拡散長の経時変化調査結果

解説図 4 に、n 型試料に SPV 測定・少数キャリア拡散長測定結果の経時変化に関するデータを示す。このデータは、附属書で述べるラウンドロビンの結果から抜粋した。解説図 4 (a) は、LPVCPF 法で使った、最も波長の短い光 (0.8 μm) に対応する SPV 信号の経時変化である。ここでは、ウェーハ中心 1 点の結果を示した。放置して時間が経つにつれて、SPV 信号が大きくなる。また、機関によって SPV 信号の強度が大きく異なるが、光の入射量などの装置の調整の違いや、表面処理を行った環境又は薬液の純度の違いに

起因する、試料表面の金属不物濃度に違いなどが原因として考えられる。信号の小さかった機関 B 及び機関 D では、**解説図 4 (b)** に示したとおり、表面処理直後の SPV 信号と光の吸収係数の関係を直線に回帰したときの相関係数が悪い ($R^2 < 0.98$) ため、少数キャリア拡散長を求めることができない試料が多く見られた。

このように、従来の前処理法では、p 型 n 型ともに、処理後の経時変化が起こり、少数キャリア拡散長測定の測定値に影響する。



(a) 波長 0.8 μm の入射光に対応する SPV 信号の強度

(b) 直線回帰の相関係数

解説図 4-n 型試料の表面処理後の経時変化

4.3 この規格で規定した前処理法

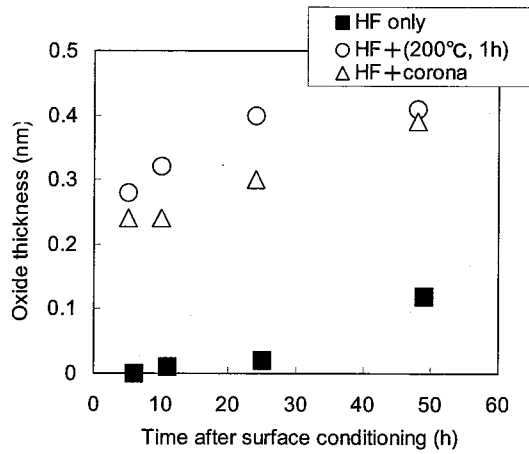
4.3.1 p 型試料の前処理

フッ化水素酸水溶液による処理の後に起こる経時変化としては、自然酸化膜の成長、水分又は有機物の吸着脱離などが考えられたため、加熱処理によって酸化膜成長を促し、若しくは水分及び有機物に関連する経時変化を抑えることができないか、ワーキンググループにて検討した。また、フッ化水素酸処理の後に試料にコロナチャージを行うことによって、経時変化のない安定した試料表面を得られることが経験上知られていたため、これも併せて試した。

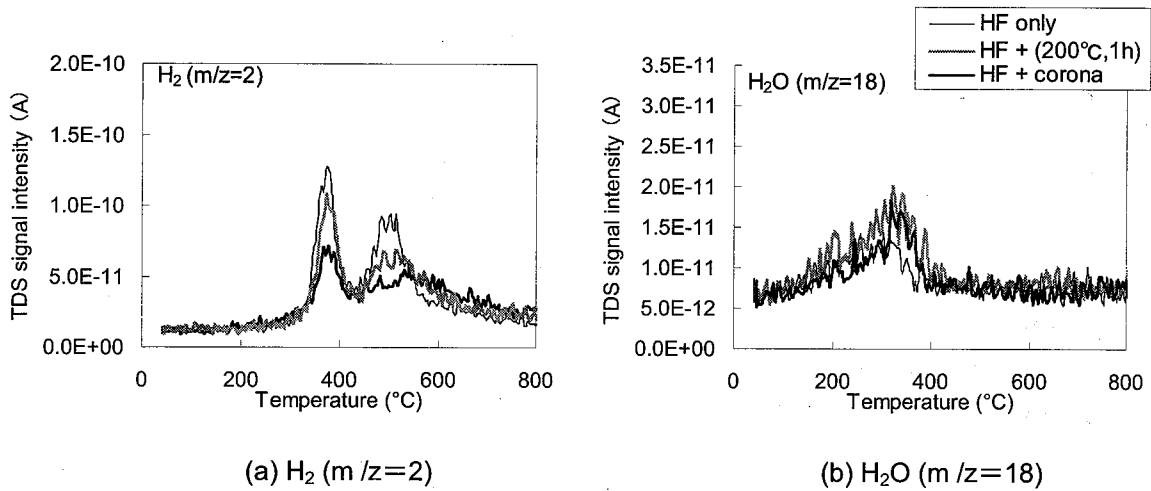
解説図 5 に、フッ化水素酸水溶液処理後の自然酸化膜厚の経時変化と、加熱又はコロナチャージを追加した場合の自然酸化膜厚を比較した結果を示す。ここでは、加熱の条件は、200 °C 1 時間、クリーンルーム中での加熱を行い、コロナチャージは、+3 000 nC/cm² の電荷を試料に降らせる条件で行った。酸化膜厚は、X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) で測定した。フッ化水素酸処理だけを行った試料では、徐々に自然酸化膜が成長するのに対し、フッ化水素酸処理の後に加熱又はコロナチャージを追加した試料においては、はじめから酸化膜が成長している。コロナチャージそのものは、帯電した空気中の分子をウェーハに降り注ぐことを目的としているが、コロナ放電で発生したオゾンによって酸化膜の成長が促進されるものと推察される。

XPS による自然酸化膜厚測定に対応して、Thermal Desorption Spectroscopy (TDS) による評価も行った。有機物はどの試料でも検出下限以下であり、H₂ (m/z=2) 及び H₂O (m/z=18) が主な脱離ガスとして検出された。**解説図 6** 及び**解説図 7** に表面処理から 5~6 時間経過後の試料から検出された H₂、及び H₂O の信

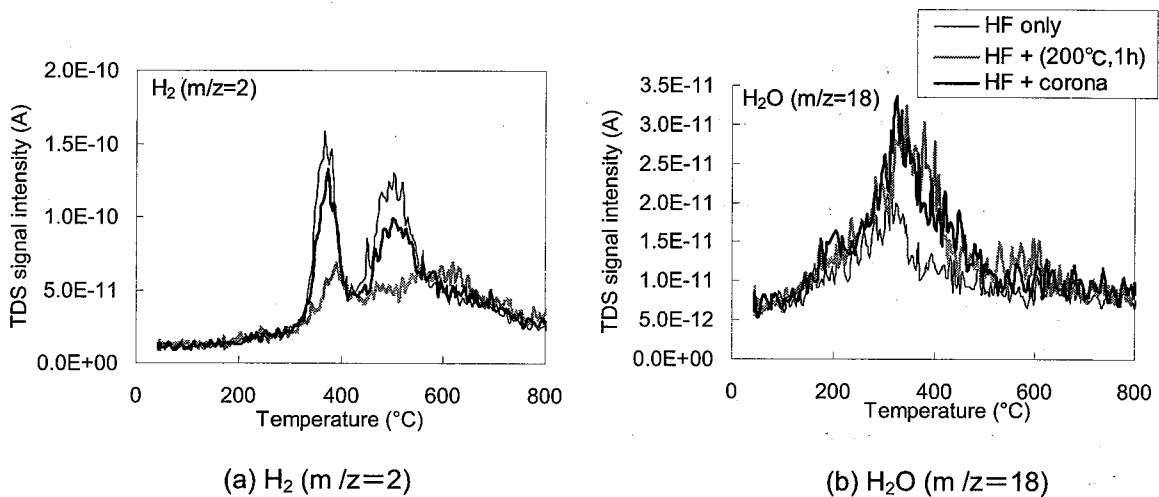
号並びに 2 日後の信号を示す。5~6 時間経過後の



解説図 5—XPS 信号から計算した酸化膜厚。試料 : p-PW-L



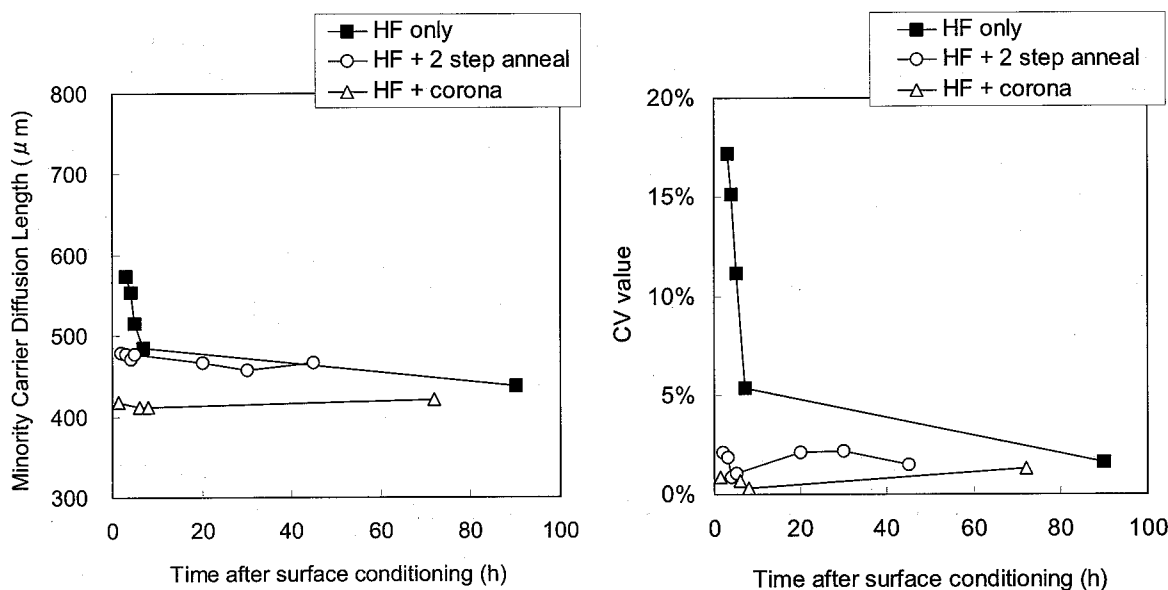
解説図 6—表面処理から 5~6 時間後の TDS 評価結果。 試料 : p-PW-L



解説図 7—表面処理から 2 日後の TDS 評価結果 試料 : p-PW-L

試料では、表面が水素で終端されているフッ化水素酸水溶液処理だけの試料において、最も高い強度で水素が検出され、逆に水分の検出量は、既に酸化膜が成長している、熱処理又はコロナチャージを追加した試料に比べ少ない。2日経過後の試料では、処理の違いによる差が小さくなっている様子が見られた。これら水素・水分の吸着量の変化は、自然酸化膜の成長に対応しているものと思われる。

以上のとおり、フッ化水素酸水溶液で処理した試料と、フッ化水素酸水溶液処理の後に加熱またはコロナチャージの処理を追加した試料とで、自然酸化膜の成長と、それに伴う水素、水分の吸着脱離の過程が異なることが確認された。これらの異なる前処理を施した p 型試料の、SPV 法による少数キャリア拡散長測定を行い経時変化を調べた例を解説図 8 に示す。ここでは、フッ化水素酸水溶液処理の後の加熱条件は、[200 °C, 1 時間] + [80 °C, 1 時間] の 2 ステップの熱処理とした。酸化膜成長を促す目的だけなら、1 段階目の熱処理だけでよいが、その場合、試料中の Fe-B 対が分解し、また、その後の室温放置で再び Fe-B 対が徐々に形成され、これに対応した経時変化が現れる。そうすると、試料表面の変化か内部の変化か切り分けられないため、解離した Fe と B を 2 段階目の 80 °C の熱処理で再結合させた。2 段階熱処理又はコロナチャージを追加した処理後では、著しい経時変化は起こっていない。



(a) 面内 5 点の平均値

(b) 面内 5 点のバラつき (CV 値)

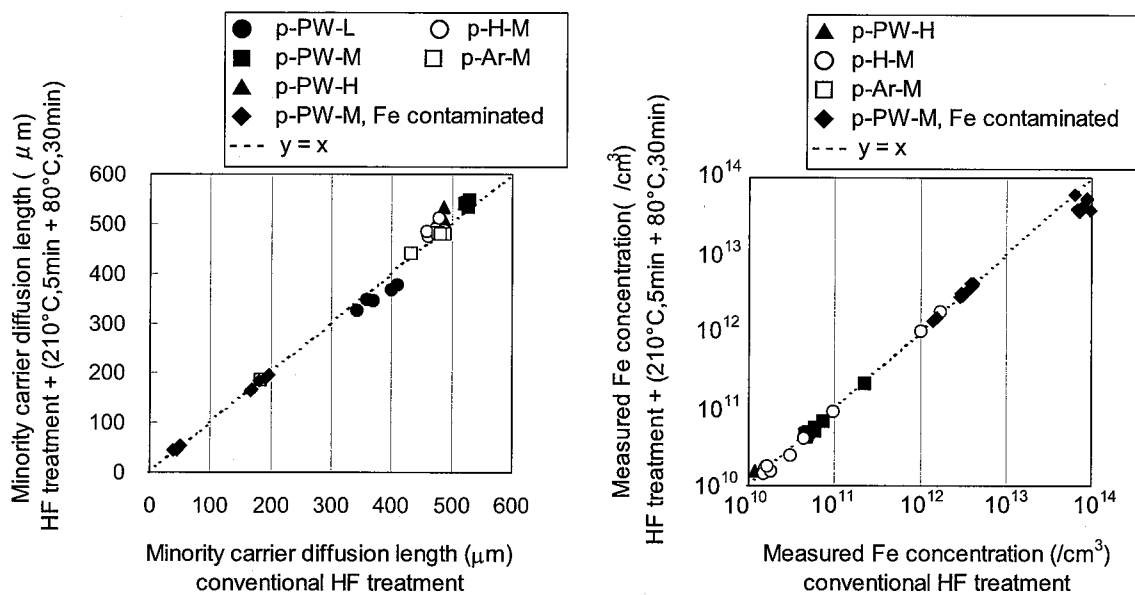
解説図 8—表面処理後の少数キャリア拡散長の経時変化

ワーキンググループでは、経時変化を抑制することが確認できた二つの方法のうち、フッ化水素酸水溶液処理後に加熱処理を行う方法を選択し、短時間での処理が可能な条件の検討を行った。

熱処理によって酸化膜を成長させる方法においては、酸化膜成長が十分である必要がある一方、200°C 付近の温度で熱処理すると、試料内で Fe の析出が進行することが知られており^[6]、試料内部が変化してしまうため、極力短時間に抑えなければならない。この相反する 2 つの要素のバランスの取れる条件を検討した結果、フッ化水素酸水溶液処理の後の熱処理は、[210 °C, 5 分] + [80 °C, 30 分] の 2 段階の熱処理をクリーンルーム大気中で行うのが最適であることを見出した。

従来の前処理法である、フッ化水素酸水溶液で処理を施した後に、1 日以上クリーンルーム大気中に放置した試料に対する、SPV 法による少数キャリア拡散長の測定結果、Fe 濃度測定結果と、フッ化水素酸水

溶液処理の後に、[210 °C, 5分] + [80 °C, 30分] の熱処理をクリーンルーム大気中で行った試料の少数キャリア拡散長, Fe 濃度を比較した結果を解説図 9 に示してある。ここでは、解説表 1 の試料のほかに、p-PW-M を Fe で強制汚染した試料も使った。また、試料面内で 5 点又は 9 点測定し、それぞれの測定点ごとに比較した結果を解説図 9 に示している。少数キャリア拡散長の測定結果は、従来の前処理法の場合と比べ、20 %以内の違いに収まっており、よく合っている。Fe 濃度測定値の方は、 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ の範囲の試料では、従来法とのズレが 20 %以内になるが、 $1 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ 近くになると、従来法に比べて低めの Fe 濃度測定値になる傾向が見られた。Fe 濃度が高濃度だと、加熱によって Fe の析出が進むためと思われる。



(a) 少数キャリア拡散長

(b) Fe 濃度

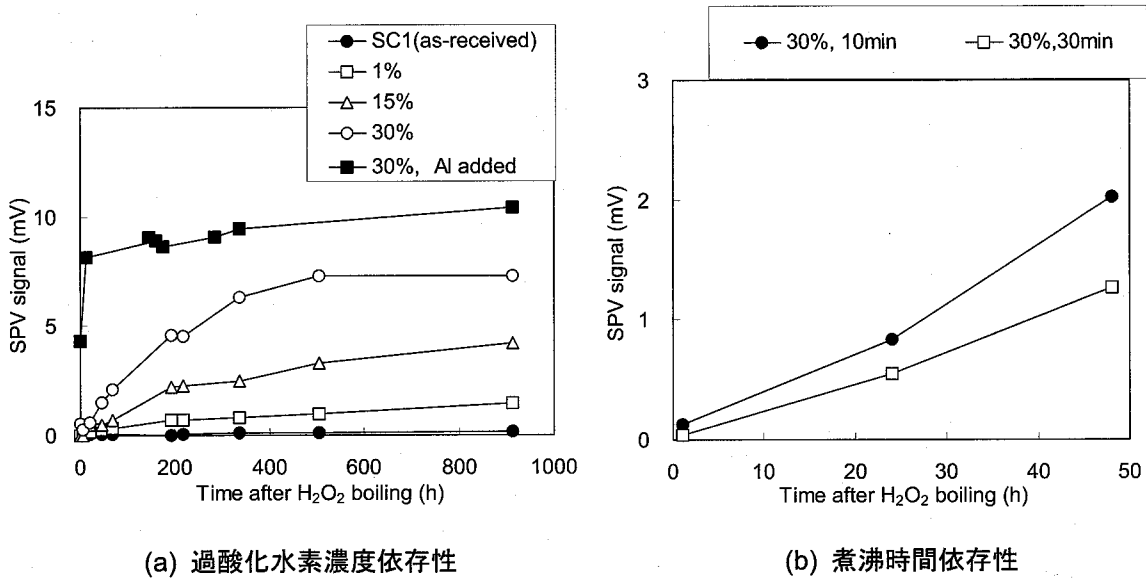
解説図 9—p 型試料の従来の前処理と、フッ化水素酸水溶液処理の後に
[210 °C, 5分] + [80 °C, 30分] の熱処理を行った場合の測定値の比較

4.3.2 n 型試料の前処理

n 型試料を過酸化水素水で煮沸するときの基本的なパラメータである、過酸化水素の濃度、煮沸時間と、SPV 信号の関係について調査した。また、過酸化水素水中のアルミニウムの影響も併せて調べた。

解説図 10 (a) に、1 %, 15 %, 30 % の 3 とおりの過酸化水素水濃度で 10 分間煮沸したときの SPV 信号及び 30 % の過酸化水素水に Al を添加したもので 10 分間煮沸したときの SPV 信号を示す。SPV 信号測定の入射光の波長は $0.8 \mu\text{m}$ だった。また、Al を添加した 30 % の過酸化水素水で処理した試料の表面 Al 濃度は、 $2.3 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ だった。過酸化水素の濃度が高いほど大きな SPV 信号が得られ、また、Al を添加すると、更に高い信号となる。しかし、どの水準においても、数十日にわたる経時変化が見られる。

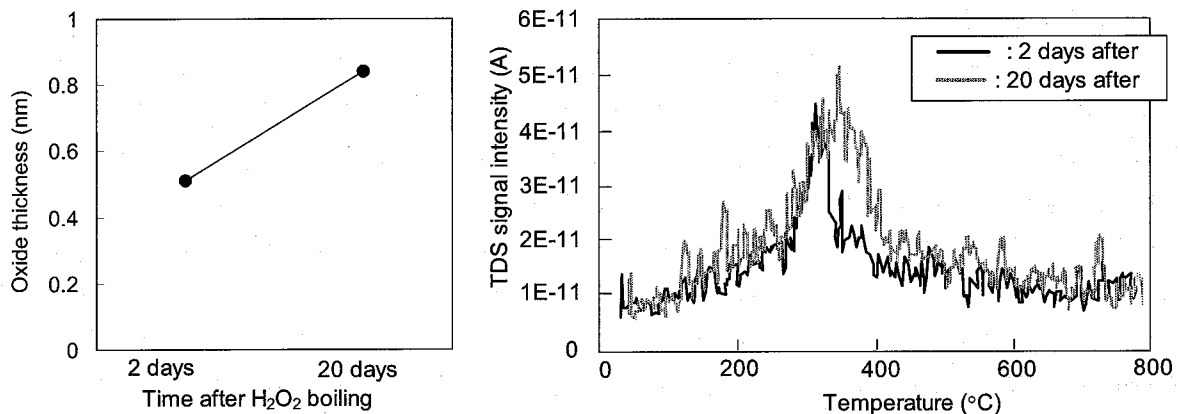
解説図 10 (b) に、SPV 信号の、30 % の過酸化水素水による煮沸時間依存性を示す。煮沸時間を 30 分まで延長しても、SPV 信号を大きくする上では寄与しなかった。



解説図 10—過酸化水素水の煮沸条件と SPV 信号。試料：n-PW-L

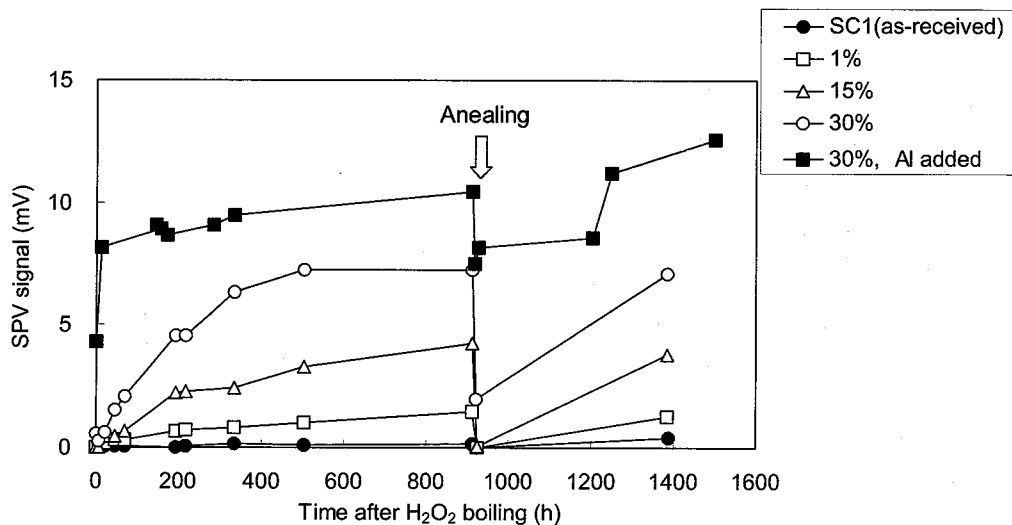
Al を添加しない 30 % の過酸化水素水で 10 分間煮沸した試料の酸化膜厚，水分の吸着量を，XPS・TDS で評価した結果を，解説図 11 に示す。過酸化水素水処理の後も，酸化膜の成長，水分吸着量の増加が見られた。SPV 信号が表面の水分吸着量に依存することを示唆するデータとして，解説図 12 に，過酸化水素水処理したウェーハに熱処理を加え，その後の SPV 信号の経時変化を調べた結果を示す。ここでは，[300 °C，5 分] + [80 °C，30 分] の 2 段階熱処理をクリーンルーム大気中で実施した。熱処理によって SPV 信号が下がり，その後のクリーンルーム中の室温放置によって，SPV 信号が回復しており，可逆的な熱依存性を見せており，水分の吸着が SPV 信号の増大に寄与しているものと思われる。

このように，n 型試料を過酸化水素水で処理する場合は，金属汚染の原因となる薬液・超純水の純度や，試料を保管するクリーンルームの温湿度に強く影響を受けることが考えられたため，ラウンドロビンを実施した機関の中で，大きな SPV 信号を得るまでに最も放置時間を要した機関に合わせて，過酸化水素水処理の後に 100 時間以上放置することで標準法とした。



解説図 11—過酸化水素水で処理した n 型試料の酸化膜厚及び水分吸着量の経時変化。

試料：n-PW-L



解説図 12—過酸化水素水で処理した n 型試料において、熱処理が SPV 信号に与える影響。

熱処理は、[300 °C, 5 分] + [80 °C, 30 分] の条件で、クリーンルーム大気中で実施。

試料 : n-PW-L

5 審議中特に問題となった事項

審議中特に問題となった事項は次のとおりである。

a) p 試料の前処理法

p 型試料の場合、フッ化水素酸水溶液で表面処理をした後に、酸化膜を成長させることで経時変化を抑制することができるため、加熱処理で安定させる以外にも、解説 4.3.1 で示したコロナチャージ、オゾンガス又はオゾン水によって表面を酸化することで、SPV 測定に好ましい前処理となる可能性がある。しかし、酸化させる設備の仕様によって望ましい条件が異なる可能性があることや、ワーキンググループの中で、これらの設備を利用できる機関が限られており、ラウンドロビンによる再現性の確認が困難であった。そこで、どの参加機関でも利用することが可能だった、ホットプレート又はオープンで加熱することで酸化させる方法を標準化することにした。

b) n 型試料の前処理法

Fe, Al 等の金属汚染が、酸化膜に取り込まれることによって負の電荷を形成し、n 型試料の SPV 信号を大きくすることが知られており^[7]、この現象を利用して、意図的に Fe 又は Al を添加した過酸化水素水で煮沸する方法が考えられる。しかし、過酸化水素水での煮沸に使う薬液槽、超純水リンスのための水槽などが Fe, Al で汚染されることになり、同一の設備を他の目的の表面処理、例えば、p 型試料の前処理に使用する場合などに、悪影響を及ぼす可能性がある。そのため、金属汚染の添加を行わない範囲で標準化することにした。

6 規定項目の説明

6.1 前処理法の概要（本体の箇条 5）

解説の箇条 4 参照。

6.2 環境（本体の箇条 6）

SPV 信号は、試料表面の Fe, Al などの金属汚染に影響を受け、また、湿度によっても試料の表面状態

に影響し得るため、作業環境をクリーンルーム内とした。

6.3 試料（本体の箇条 7）

Fe 濃度が高濃度の p 型シリコンウェーハの場合、200 °C 以上の加熱処理によって、析出がおこる。そのため、SPV 法で Fe 濃度を求める際に、Fe 濃度が実際よりも低めに測定されることになるので、解説の 3.3.1 の試験に基づき、p 型試料の Fe 濃度の上限を $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ とした。

6.4 薬品など（本体の箇条 8）

SPV 信号は、試料表面の Fe, Al などの金属汚染に影響を受けるため、薬品等の純度を規定した。

6.5 p 型シリコンウェーハ（本体の 10.1）

フッ化水素酸水溶液処理の後の 2 段階の熱処理では、210 °C、5 分の 1 段階目の後に室温まで急冷する必要がある。試料温度が 200 °C 付近で停滞していると、その間に試料内部の Fe の析出が進行するので、これを防止するためである。また、前処理から測定までの間、プラスチックの出荷容器などに密閉して試料を保管すると、試料表面が有機物で汚染されて、p 型試料の表面障壁高さが下がる場合があるため^[8]、クリーンルーム大気に暴露して保管することとした。

7 参考文献

- [1] SEMI MF391-02 "Test Method for Minority Carrier Diffusion Length in Extrinsic Semiconductors by Measurement of Steady-State Surface Photovoltage"
- [2] L. Jastrzebski, O. Milic, M. Dexter, J. Lagowski, D. DeBusl, K. Nauka, R. Witowski, M. Gordon and E. Presson, Proc. of 2nd Int'l Symp. on Cleaning Technology in Semiconductor Device Manufacturing, The Electrochemical Society, Inc., Pennington, NJ, PV92-12 (1992) 294
- [3] G. Zoth and W. Bergholz, J.Appl.Phys, vol.67 (1990) 6764
- [4] P. Geranzani, M.Porrini, G. Borionetti, R. Orizio and R. Falster, J. Electrochem. Soc., vol.146 (1999) 3494
- [5] M.Wilson, J.Lagowski, A.Savthouk, L.Jastrozebski and J.D'Amico : "Gate Dielectric Integrity : Material, Process, and Tool Qualification", ASTM STP 1382, D. C. Gupta, G. A. Brown, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, (2000)74.
- [6] K. Graff and H. Pieper, J. Electrochem. Soc., Vol.128, (1981) 669
- [7] H. Shimizu and C. Munakata: "In-Line Characterization Techniques of Performance and Yield Enhancedment in Microelectronics II", Proc. of SPIE (The International Society of Optical Engineering), 3959 (1998) 96.
- [8] M. Kohno, T. Kitajima, S. Hirae and S. Yokoyama, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42 (2003) 5837

JEITA EM-3509 審議委員会の構成表

電子材料標準化委員会

委員長 石垣 尚幸 (株)NEOMAX

シリコン技術委員会

委員長	田島 道夫	宇宙科学研究所
幹事	金山 敏彦	産業技術総合研究所
同	小山 浩	日本電子(株)
委員	井上 直久	大阪府立大学
同	小椋 厚志	明治大学
同	福田 哲生	富士通(株)
同	宮崎 守正	三菱住友シリコン(株)
同	松本 行雄	アクセントオプティカルテクノロジーズ(株)
同	廣川 一人	(株)荏原製作所
同	江口 公平	エム・イー・エム・シー(株)
同	進藤 健一	黒田精工(株)
同	中井 康秀	(株)コベルコ科研
同	河野 光雄	コマツ電子金属(株)
同	滝澤 律夫	ソニー(株)
同	宮下 守也	(株)東芝
同	松下 嘉明	東芝セラミックス(株)
同	吉瀬 正典	日本エー・ディー・イー(株)
同	北野 友久	NEC エレクトロニクス(株)
同	河合 直行	(株)ルネサステクノロジ
同	吉住 恵一	松下電器産業(株)
同	大石 博司	松下電器産業(株)
同	片浜 久	三菱住友シリコン(株)
同	太田 泰光	シルトロニック・ジャパン(株)
同	内田 英次	沖電気工業(株)
同	竹中 卓夫	信越半導体(株)
同	磯崎 久	(株)トプコン
同	渡辺 正晴	日本エスイーゼット(株)
同	坂井 秀男	(株)レイテックス
顧問	垂井 康夫	武田計測先端知財団
事務局	中瀬 真	(社)電子情報技術産業協会
同	高梨 健一	(社)電子情報技術産業協会
同	佐藤 秀樹	(社)電子情報技術産業協会
同	吉田 晃	(社)電子情報技術産業協会

ウェーハ測定標準専門委員会

委員 長	宮 崎 守 正	三菱住友シリコン(株)
委 員	井 上 直 久	大阪府立大学
同	武 縄 智 章	アクセントオプティカルテクノロジーズ(株)
同	中 村 典 夫	エム・イー・エム・シー(株)
同	住 江 伸 吾	(株)コベルコ科研
同	松 本 圭	コマツ電子金属(株)
同	篠 宮 勝	信越半導体(株)
同	迫 田 元	ソニー(株)
同	竹 田 隆 二	東芝セラミックス(株)
同	斉 藤 滋 晃	(株)ルネサステクノロジ
同	金 田 寛	(株)富士通研究所
同	米 田 健 司	松下電器産業(株)
同	渡 辺 正 晴	日本エスイーゼット(株)
同	後 藤 大 助	日本エー・ディー・イー(株)
客 員	小 山 浩	日本電子(株)
同	河 合 健 一	河合企画
事 務 局	高 梨 健 一	(社)電子情報技術産業協会
同	佐 藤 秀 樹	(社)電子情報技術産業協会

SPV 法の前処理方法標準化 WG

主 査	松 本 圭	コマツ電子金属(株)
委 員	高 橋 亨	エム・イー・エム・シー(株)
同	太 田 泰 光	シルトロニック・ジャパン(株)
同	砂 川 健	信越半導体(株)
同	成 田 匡 宏	東芝セラミックス(株)
同	後 藤 大 助	日本エー・ディー・イー(株)
同	府瀬川 和 宏	三菱住友シリコン(株)
事 務 局	高 梨 健 一	(社)電子情報技術産業協会
同	佐 藤 秀 樹	(社)電子情報技術産業協会



Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

JEITA EM-3509

**Sample preparation method for minority carrier
diffusion length measurement in silicon wafers by
surface photovoltage method**

Established in July, 2005

Prepared by

Silicon Technologies Committee

Technical Standardization Committee on Electronic Materials

Published by

Japan Electronics and Information Technology Industries Association

11, Kanda-Surugadai 3-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062, Japan

Printed in Japan

This document is a translation without guarantee. In the event of any doubt arising, the original standard in Japanese is to be evidenced.

JEITA standards are established independently to any existing patents on the products, materials or processes they cover.

JEITA assumes absolutely no responsibility toward parties applying these standards or toward patent owners.

© 2005 by the Japan Electronics and Information Technology Industries Association

All rights reserved. No part of this standard may be reproduced in any form or by any means without prior permission in writing from the publisher.

Contents

1	Scope	1
2	Referenced Standards	1
3	Terminology	1
4	Safety Precautions	1
5	Outline of Preparation Methods	2
5.1	p-Type Silicon Wafers	2
5.2	n-Type Silicon Wafers	2
6	Operating Conditions	2
7	Samples	2
8	Reagents	2
8.1	Ultrapure Water	2
8.2	Hydrofluoric Acid	2
8.3	Hydrogen Peroxide Solution	2
9	Apparatus	2
9.1	Acid Surface-Processing Apparatus	2
9.2	Hot Plate	3
9.3	Aluminum Plate	3
10	Preparation Procedure	3
10.1	p-Type Silicon Wafers	3
10.2	n-Type Silicon Wafers	4
11	Recording	4
Annex A (References) Round-Robin Testing of Sample Preparation Methods		
	for Minority Carrier Diffusion Length Measurements	
	by Surface Photovoltage Methods	5
	Explanation	14

Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association

Sample preparation method for minority carrier diffusion length measurement in silicon wafers by surface photovoltage method

1 Scope

This standard defines sample preparation methods when measuring the minority carrier diffusion lengths of silicon wafers using surface photovoltage (SPV) methods.

2 Referenced Standards

The standards listed below constitute a portion of this standard through their citation in this document. All cited documents refer to the latest published versions (including supplements).

ISO 14644-1	Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness
SEMI C28-0704	Specifications and Guidelines for Hydrofluoric Acid
SEMI C30-1101	Specifications and Guidelines for Hydrogen Peroxide

3 Terminology

Definitions of the primary terms used in this standard are given below.

3.1

Surface Photovoltage

Surface photovoltage is the change in electrostatic potential occurring at the sample surface when irradiated by light.

3.2

Minority Carrier Diffusion Length

Minority carrier diffusion length is the distance minority carriers in semiconductors diffuse in their lifetimes.

3.3

Fe-B (iron-boron) Pair

In B-doped p-type silicon, the pair that forms after an iron (Fe) donor binds with a boron (B) acceptor.

4 Safety Precautions

The methods defined in this standard involve the use of hydrofluoric acid and hydrogen peroxide solutions for surface processing. These chemicals are toxic to humans and must be handled with the utmost care within apparatus equipped with local ventilation. Personnel unfamiliar with danger precautions or emergency procedures must not handle these chemicals. Furthermore, the methods defined in this standard include processes where samples are heated. Therefore, measures must be in place to cope with burns and other injuries.

All appropriate health and safety practices inherent to this standard are the responsibility of the user of this standard.

5 Outline of Preparation Methods

5.1 p-Type Silicon Wafers

After applying a hydrofluoric acid solution to remove the oxide grown by high-temperature oxidation or chemical-vapor deposition (CVD) or the oxide grown chemically with SC-1 cleaning or some other process, the wafer undergoes the following two-step annealing process in a cleanroom atmosphere. First, the sample is oxidized with a 210°C, five-minute heat treatment. Because this annealing step causes Fe-B pairs in the wafer to disassociate, the Fe-B pairs are recombined with a second 80°C, 30-minute heat treatment.

5.2 n-Type Silicon Wafers

After applying a hydrofluoric acid solution to remove the oxide grown by high-temperature oxidation or CVD or the oxide grown chemically with SC1 cleaning or some other process, the wafer is immersed in a hydrogen peroxide solution between 70°C and 80°C to grow an oxide chemically. Following this treatment, the wafer is left exposed to the atmosphere for no less than 100 hours.

6 Operating Conditions

The preparation procedures take place in a cleanroom with a temperature of $23 \pm 3^\circ\text{C}$ and a relative humidity between 30 percent and 70 percent. The cleanroom's grade is to be no lower than Class 4 as defined in **ISO 14644-1**.

7 Samples

Samples are p-type or n-type single-crystal silicon wafers and must have a polished front surface. An oxide layer grown with high-temperature oxidation or CVD may present on the front surface of samples. When lapped wafers or slice wafers are used as samples, the layer of mechanical damage on the front surface must be removed with etching or polishing before beginning the preparations defined in this standard. The Fe concentration in p-type samples must not exceed $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$.

8 Reagents

8.1 Ultrapure Water

The specific resistivity of ultrapure water must be no less than $18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ when the water is at 25°C.

8.2 Hydrofluoric Acid

The hydrogen fluoride concentration must be between 48.8 percent and 50.2 percent. Other specifications of the hydrofluoric acid are to correspond to VLSI grade, the guidelines of which are indicated in **SEMI C28-0704**.

8.3 Hydrogen Peroxide Solution

The hydrogen peroxide concentration must be between 30 percent and 32 percent. Other specifications of the hydrogen peroxide solution are to correspond to VLSI grade, the guidelines of which are indicated in **SEMI C30-1101**.

9 Apparatus

9.1 Acid Surface-Processing Apparatus

The surface-processing device used when preparing p-type samples must be capable of removing the sample's oxide layer with a hydrofluoric acid solution, rinsing the sample with ultrapure water, and drying the sample. All operations are done at room temperature.

When preparing n-type samples, in addition to removing the sample's oxide layer with a hydrofluoric acid solution, rinsing the sample with ultrapure water, and drying the sample at room temperature, the surface-processing device must be capable of performing surface processing with a hydrogen peroxide solution heated to between 70°C and 80°C. This last function requires the device to be able to control temperatures with a heater and controller to warm chemical solutions. **Figure 1** gives a block layout of an example surface-processing device.

9.2 Hot Plate

A hot plate is used in the two-step annealing process applied during preparation of p-type samples after the hydrofluoric acid solution treatment. A hot plate is normally used because the sample must be heated rapidly to 210°C in the first annealing step. The hot plate must be capable of heating the sample to both 210°C and 80°C. Measures must be taken to prevent the hot plate from introducing metal contaminants to the sample. Therefore, it is recommended to pass heat through a purified silicon wafer or a Teflon sheet placed between the hot plate and the sample wafer. Since there are no conditions on the heating and cooling rates in the second 80°C annealing step, it is acceptable to use a thermostatic oven for the second step.

9.3 Aluminum Plate

An aluminum plate is used to quickly quench p-type samples to room temperature after the 210°C annealing step in their preparation. The aluminum plate must be sufficiently broad to accommodate the entire back surface of the sample and be no less than one centimeter thick.

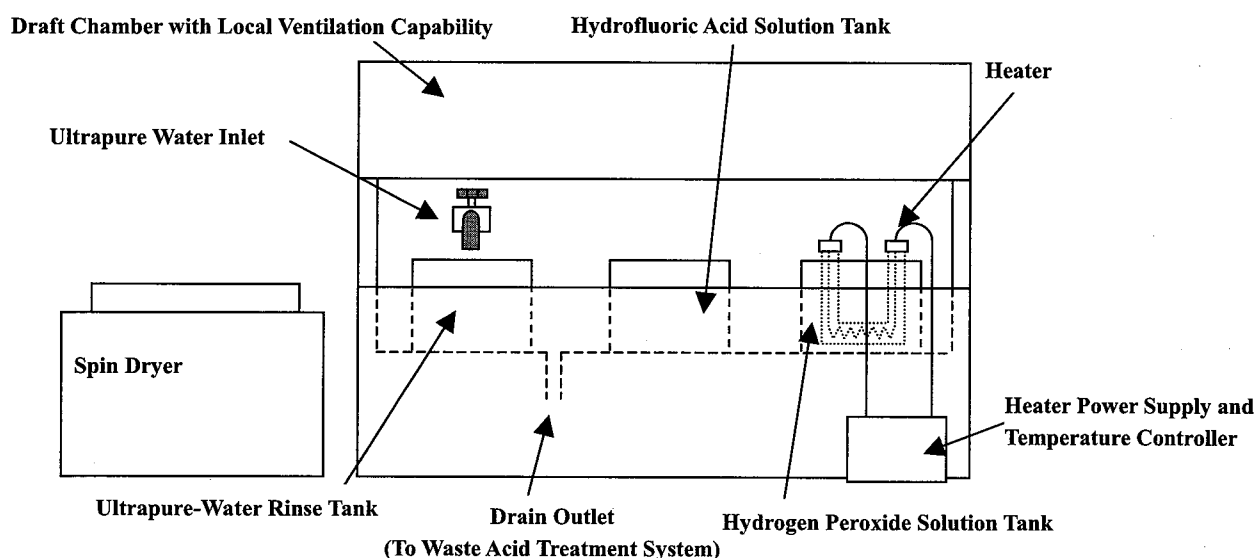


Figure 1—Layout of an Example Acid Surface-Processing Apparatus

10 Preparation Procedure

10.1 p-Type Silicon Wafers

10.1.1 Immerse the sample in a hydrofluoric acid solution¹⁾ diluted to five percent with ultrapure water and remove the oxide layer on the front surface. The immersion time is adjusted according to the oxide thickness. Next, the sample is rinsed for ten minutes in ultrapure water and then dried. All operations are performed at room temperature.

Note¹⁾ Different concentrations may be used as long as the solution can fully remove the oxide layer from the sample. When a different concentration is used, however, it must be recorded and reported.

10.1.2 Preheat the hot plate so it can heat the sample to 210°C. Place the sample on the preheated hot plate and heat the sample. Annealing lasts for five minutes. After annealing, transfer the sample at once to the aluminum plate (making full contact with the plate) and rapidly cool the sample to room temperature.

Note It is possible to perform the first annealing treatment at lower temperatures and longer durations and cool the sample to room temperature more gradually. But alternative annealing treatments (other than five minutes at 210°C and rapid cooling to room temperature) cannot be used without first confirming favorable correspondence of SPV minority carrier diffusion length measurements and Fe-concentration measurements under the alternate conditions versus the standard conditions. Furthermore, when different annealing conditions are used, they must be recorded and reported.

10.1.3 Next, heat the sample with the hot plate²⁾ in the cleanroom atmosphere. The annealing temperature and duration are 80°C and 30 minutes respectively.

Note²⁾ See Section 9.2.

10.1.4 Cool the sample to room temperature. The sample must remain exposed to the cleanroom atmosphere until measurements are taken.

10.2 n-Type Silicon Wafers

10.2.1 Immerse the sample in a hydrofluoric acid solution³⁾ diluted to five percent with ultrapure water and remove the oxide layer on the front surface. The immersion time is adjusted according to the oxide thickness. Next, the sample is rinsed for ten minutes in ultrapure water and then dried⁴⁾. All operations are performed at room temperature.

Note³⁾ Different concentrations may be used as long as the solution can fully remove the oxide layer from the front side of the sample. When a different concentration is used, however, it must be recorded and reported.

Note⁴⁾ The drying operation may be omitted if the sample moves directly to the process in Section 10.2.2.

10.2.2 Immerse the sample for 10 minutes in a hydrogen peroxide solution heated to between 70°C and 80°C. Use an undiluted hydrogen peroxide solution. Next, the sample is rinsed for ten minutes in ultrapure water and then dried. Both rinsing and drying are performed at room temperature.

Note The drying step in Section 10.2.1 can be omitted if the processes in Section 10.2.1 and Section 10.2.2 are done consecutively.

10.2.3 Leave the sample at room temperature for at least 100 hours either exposed to the cleanroom atmosphere or stored in a shipping container for silicon wafers.

11 Recording

Record the following information:

- a) The date, time, temperature, and humidity when the sample was prepared,
- b) The preparation location and the apparatus used,
- c) The concentration of the hydrofluoric acid solution and the immersion time, and
- d) The concentration of the hydrogen peroxide solution when n-type samples are prepared.

Annex A (References)

Round-Robin Testing of Sample Preparation Methods for Minority Carrier Diffusion Length Measurements by Surface Photovoltage Methods

A.1 Objective

Round-robin testing was employed to ascertain the appropriate preparation conditions and the variance among participating laboratories.

A.2 Tests

A.2.1 Sample Specifications

Plain-oriented (100) Czochralski (CZ) silicon wafers with diameters of 200 millimeters were used in the round-robin tests, as shown in **Table A.1**. Laboratory B applied SC-1 cleaning to all samples to initialize the surfaces before shipping the samples to the other laboratories participating in the round-robin tests.

Table A.1 — Samples Used in the Round-Robin Tests

	Conductivity type	Resistivity ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Annealing
p-PW-L	p	1.8	No
p-PW-M	p	10	No
p-PW-H	p	20	No
p-H-M	p	10	Hydrogen
p-Ar-M	p	10	Argon
n-PW-L	n	1.5	No
n-PW-M	n	7	No
n-PW-H	n	9	No

A.2.2 Test Procedure

A.2.2.1 p-Type Samples

Different preparations were performed on the samples in the sequence **a)** to **d)** below. After each surface treatment, the minority carrier diffusion length was measured by a surface photovoltage (SPV) method. The goals set out were to confirm the superiority of the conventional preparation practice and the method defined in this standard over SC-1 cleaning by comparing the results of **a)** with those of **b)** and **c)**; to compare the minority carrier diffusion lengths obtained with the conventional method and with the method defined in this standard using the results from **b)** and **c)**; and to confirm the extent of internal sample change caused by the annealing in method **c)** by comparing the results from **b)** and **d)**.

- a) As-received** The minority carrier diffusion lengths were measured in the as-received samples, which had undergone SC-1 cleaning at Laboratory B.
- b) Conventional method (first repetition)** The samples were immersed for two minutes in a five-percent hydrofluoric acid solution. Following this, the samples were rinsed for 10 minutes in ultrapure water and then dried in a spin dryer. After being exposed to a cleanroom atmosphere for 24 hours, the minority carrier diffusion lengths of the samples were measured.

- c) **HF + two-step annealing** The samples were immersed for two minutes in a five-percent hydrofluoric acid solution. Following this, the samples were rinsed for 10 minutes in ultrapure water and then dried in a spin dryer. Next, the samples were subjected to a two-step annealing process (210°C for five minutes and 80°C for 30 minutes) with a hot plate in a cleanroom atmosphere. Once the first-step heat treatment was completed, either the samples were rapidly cooled by placing them on an aluminum plate at room temperature or the samples were transferred within seconds to the second-step heat treatment by preparing separate hot plates side by side for the first-step heat treatment and the second-step heat treatment. Once the second-step heat treatment was completed, the samples were rapidly cooled by placing them on an aluminum plate at room temperature. The minority carrier diffusion lengths of the samples were measured immediately after this processing was completed.
- d) **Conventional method (second repetition)** The samples were immersed for two minutes in a five-percent hydrofluoric acid solution. Following this, the samples were rinsed for 10 minutes in ultrapure water and then dried in a spin dryer. After being exposed to a cleanroom atmosphere for 24 hours, the minority carrier diffusion lengths of the samples were measured.

A.2.2.2 n-Type Samples

The samples underwent four surface treatments given in the sequence **a)** to **d)** below. The minority carrier diffusion lengths of the samples were measured after each surface treatment. The goals set out were to confirm the superiority of boiling with hydrogen peroxide over SC-1 cleaning by comparing the results of **a)** with those of **b)** through **d)**; and to ascertain the most appropriate standing time by comparing the results from **b)**, **c)**, and **d)**.

- a) **As-received** The minority carrier diffusion lengths were measured in the as-received samples, which had undergone SC-1 cleaning at Laboratory B.
- b) **H₂O₂** Samples were boiled for 10 minutes in a 30-percent hydrogen peroxide solution at a temperature of between 70°C and 80°C. Following this, the samples were rinsed for 10 minutes in ultrapure water and then dried in a spin dryer. The minority carrier diffusion lengths of the samples were measured by SPV immediately after they were dried.
- c) **H₂O₂ + 48-hour standing period** After completing **b)** above, the samples were stored in a silicon-wafer shipping box and left in a cleanroom for 48 hours. After this time, the minority carrier diffusion lengths of the samples were measured.
- d) **H₂O₂ + 100-hour standing period** After completing **c)** above, the samples were stored in a silicon-wafer shipping container and left in a cleanroom for 100 hours. After this time, the minority carrier diffusion lengths of the samples were measured.

A.2.3 Measurement Conditions

Minority carrier diffusion length measurements were made with the Linear Photovoltage, Constant Photon Flux (LPVCPF) method, one of the SPV methods defined in SEMI MF391-02. The detailed measurement conditions are described by **a)** to **d)** below.

- a) **Illuminating light wavelengths** seven wavelengths from 0.8 μm to 1.0 μm
- b) **Lock-in amplifier time constant** 100 milliseconds
- c) **Correction for wafer-thickness effects on minority carrier diffusion length measurements** None
- d) **Measurement points** Measurements were taken at five points on each reference sample (see **Figure A.1**)

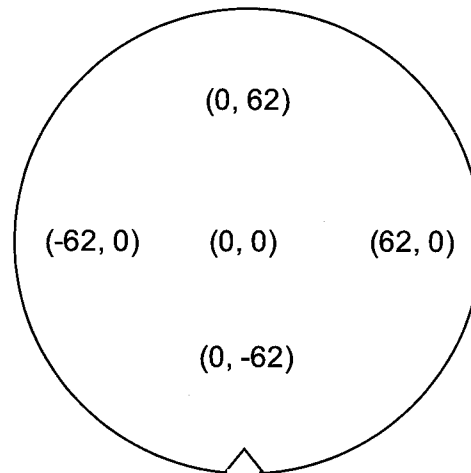


Figure A.1 – Minority Carrier Diffusion Length Measurement Points Used in the Round-Robin Tests

A.2.4 Comments on the Timing of Preparations and Measurements

Laboratory B initialized all samples with SC-1 cleaning on October 20, 2004. One sample of each level (p-type: five levels \times one sample = five samples, n-type: three levels \times one sample = three samples) was distributed to each laboratory participating in the round-robin tests. Although the tests were conducted in parallel at each laboratory, each laboratory's test timing was slightly different, ranging from October 29 to December 25, 2004. As a result, variations were seen in the n-type sample "as-received" measurements among the laboratories. These variations are believed to be caused by the temporal changes that occur after SC-1 cleaning. This aspect is described in greater detail later.

A.3 Participating Laboratories

The laboratories listed (in alphabetic order) in **a)** and **b)** below took part in the round-robin tests.

- a) p-type sample tests** Komatsu Electronic Metals Co., Ltd., MEMC Japan Ltd., Shin-Etsu Handotai Co., Ltd., Sumitomo Mitsubishi Silicon Corporation, and Toshiba Ceramics Co., Ltd.
- b) n-type sample tests** Komatsu Electronic Metals Co., Ltd., MEMC Japan Ltd., Shin-Etsu Handotai Co., Ltd., and Toshiba Ceramics Co., Ltd.

A.4 Round-Robin Results

A.4.1 p-Type Sample Tests

Figure A.2 indicates the SPV signals, taken from part of the measurement data, corresponding to the shortest illuminating light wavelength ($0.8 \mu\text{m}$) obtained using the LPVCPF method. Generally speaking, the SPV signals are larger in the samples after the conventional method and the HF + two-step annealing method than in the as-received samples after SC-1 cleaning. At Laboratory E, however, the SPV signals from the samples after conventional processing were exceptionally small and, consequently, minority carrier diffusion lengths were impossible to measure at many measurement points.

Figure A.3 shows the minority carrier diffusion length measurements found with SPV for each representative sample. Each point in the plot represents the average value of the five measurement points on each sample. Minority

carrier diffusion lengths cannot be measured when the linear-regression calculation of the $\Phi_{eff}/\Delta V$ to α^{-1} relationship produces a poor correlation factor ($R^2 < 0.98$). The symbol (U.D.) is used in the diagram to indicate samples where measurements were not possible at one or more of the five measurement points. As mentioned above, (U.D.) occurred frequently in the measurements after conventional processing at Laboratory E and occurred in one instance at Laboratory B. This signifies the 24-hour standing time at room temperature after conventional preparation is often insufficient.

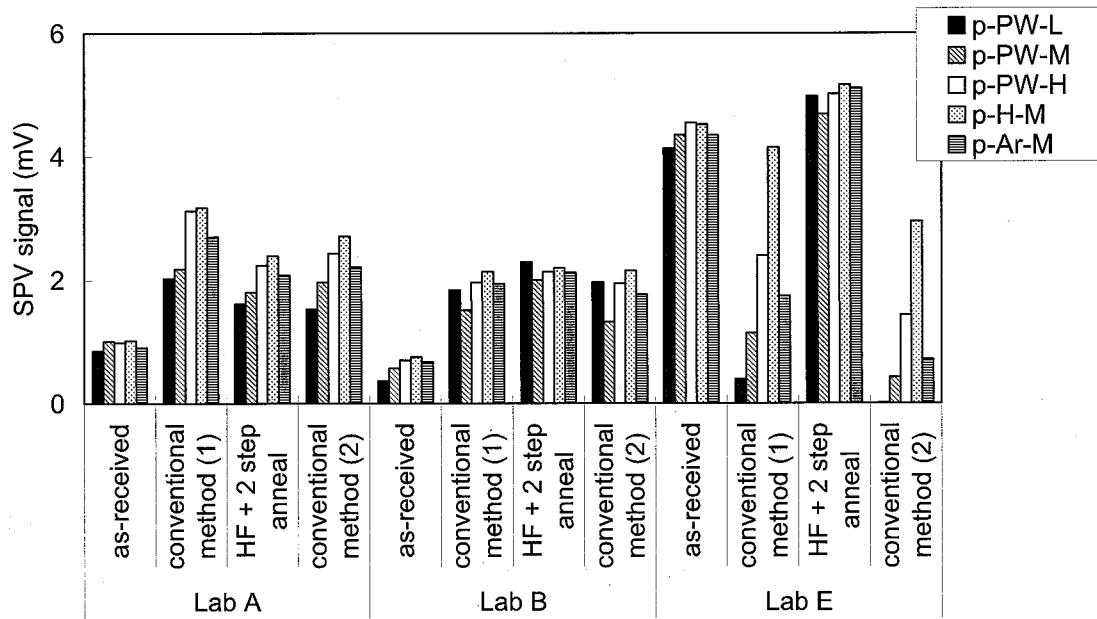


Figure A.2 – SPV Signals (at wafer center) in p-Type Samples after Each Surface Treatment - Illuminating Light Wavelength: 0.8 μm

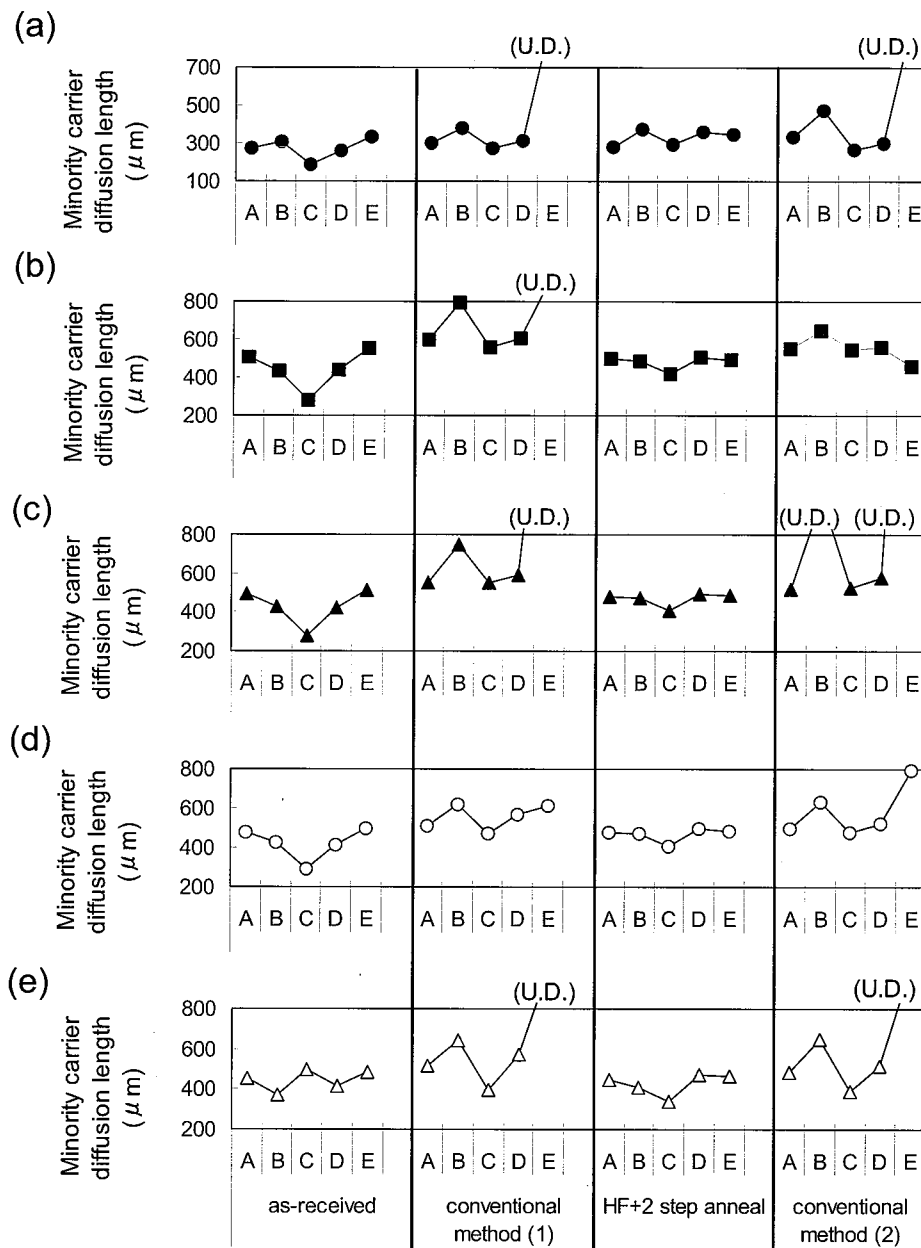


Figure A.3—Minority Carrier Diffusion Length Measurements after Each Surface Treatment - Average of the Five Measurement Points.
(a) p-PW-L (b) p-PW-M (c) p-PW-H (d) p-H-M (e) p-Ar-M

Figure A.4 plots the variance among the laboratories in two sets of minority carrier diffusion length measurements — in the as-received state and after applying the HF + two-step annealing preparation method. The variance in measurements after the conventional method is not given here because of the frequent U.D. measurements. Although the SPV signals were small in the as-received samples, the variance among laboratories was large. The CV value among the laboratories for the HF + two-step annealing measurements was within 13 percent. This value also includes variances caused by the use of different measuring instruments and variations between the wafers.

To verify to what extent changes occur within samples due to the annealing treatment in the HF + two-step annealing preparation method, the minority carrier diffusion length after the conventional method (first repetition) was compared with the minority carrier diffusion length after the conventional method (second repetition). **Figure A.5** indicates the results of this comparison. Data values from Laboratory B and Laboratory E, where U.D. measurements occurred frequently, are not included in this diagram. The two sets of results show good correspondence, but the minority carrier diffusion lengths after the conventional method (second repetition) were slightly shorter, with an average change of about four percent.

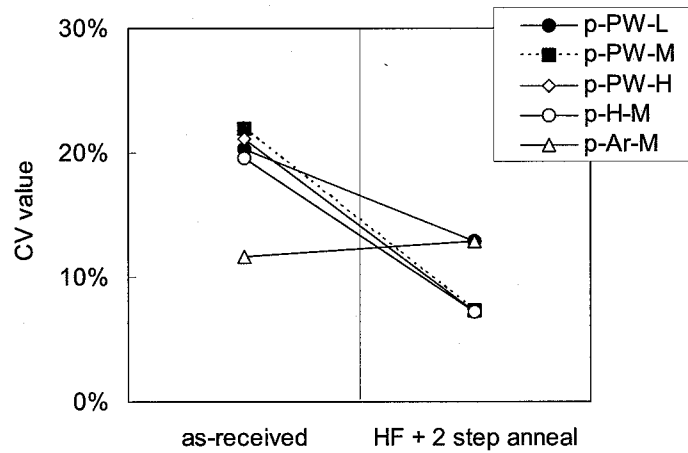


Figure A.4—Interlaboratory Variance in Minority Carrier Diffusion Lengths in the As-Received Samples and after HF + Two-Step Annealing

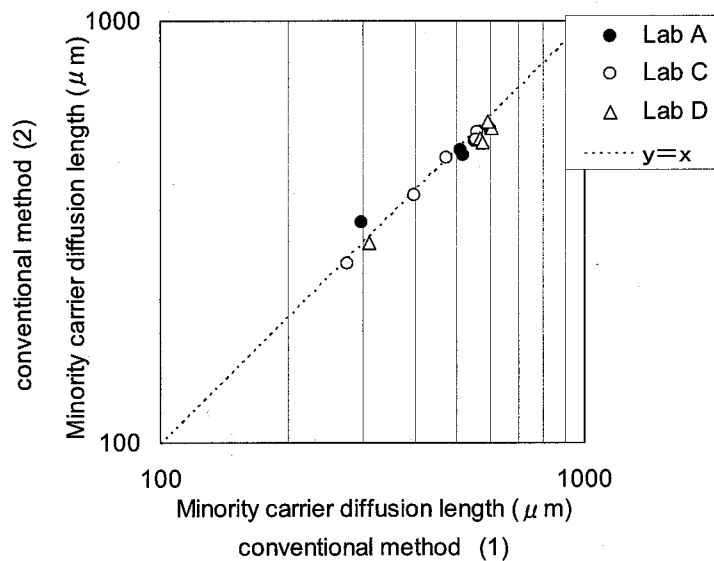


Figure A.5—Comparison of Minority Carrier Diffusion Lengths after Conventional Preparation (first repetition) and after Conventional Preparation (second repetition) - Each Plotted Value is the Average of the Five Measurement Points

Next, **Figure A.6** compares minority carrier diffusion lengths between the conventional method (first repetition) and the HF + 2-step annealing method. Each ratio was calculated with the measurement after the conventional method (first repetition) as the denominator and the measurement after HF + 2-step annealing as the numerator. The ratios for Laboratory B and Laboratory E used a different denominator: the sample's diffusion length measurement one month after performing the conventional method (second repetition). Differences between the conventional method and the HF + 2-step annealing method were generally contained in a range of about 20 percent. Except for the p-PW-L sample, it is believed the cause of the shortening minority carrier diffusion lengths after HF + 2-step annealing is due to the continuing decrease in minority carrier diffusion length measurements after the conventional method (first repetition) even beyond a standing period of 24 hours after HF treatment, as shown in **Explanatory Figure 2**.

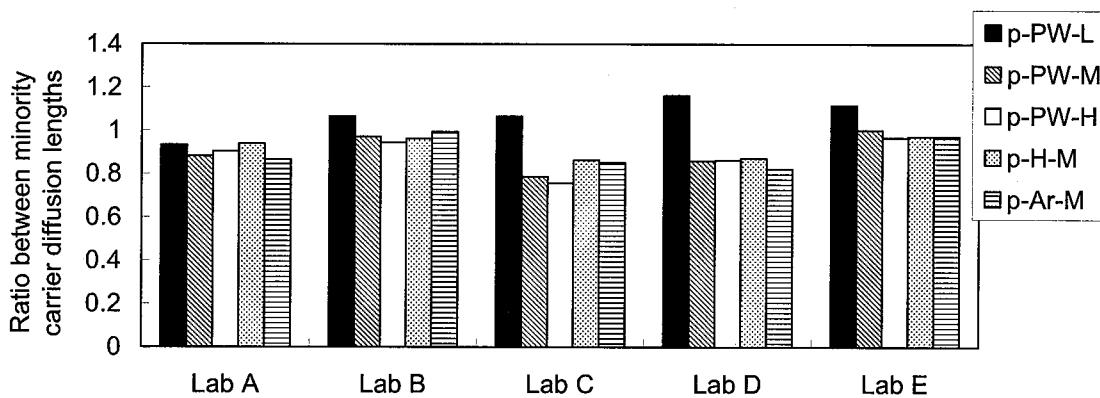


Figure A.6— Comparison of Minority Carrier Diffusion Lengths Between Conventional Preparation (first repetition) and HF + 2-step Annealing (For laboratories B and E only, the sample measurements one month after the conventional preparation (second repetition) are compared with measurements after HF + 2-step annealing)

A.4.2 n-Type Sample Tests

Figure A.7 indicates the SPV signals, taken from part of the measurement data, corresponding to the shortest illuminating light wavelength (0.8 μm) obtained using the LPVCPF method. After hydrogen peroxide processing, the longer the standing time, the larger the SPV signals. There was no pattern at all in the measurements of the as-received samples, with some laboratories recording the strongest signals among the tested references and others recording the weakest signals. This disparity can be accounted for by the different times the laboratories took between the pre-distribution SC-1 cleaning and the sample measurements. For example, Laboratory E took measurements 12 days after SC-1 cleaning, but laboratories B and D took measurements after a 47-day interval. This phenomenon is thought to be the result of a temporal change similar to that seen after hydrogen peroxide processing.

Figure A.8 shows the minority carrier diffusion length measurements found with SPV in each sample level. Each point in the plot represents the average value of the five measurement points on each sample. Samples with one or more measurement point having a poor correlation factor ($R^2 < 0.98$) are marked in the diagram with (U.D.). U.D. measurement points were found in the as-received samples. As explained above, the shorter the interval between SC-1 cleaning and measurements, the smaller the SPV signal. The U.D. occurrences finally disappeared when the

samples were given a standing time of 100 hours after hydrogen peroxide processing.

Figure A.9 illustrates the variance among the laboratories' measurements 100 hours after hydrogen peroxide processing. The CV value among the laboratories was within 13 percent. This value includes variances caused by the use of different measuring instruments and variations between the wafers.

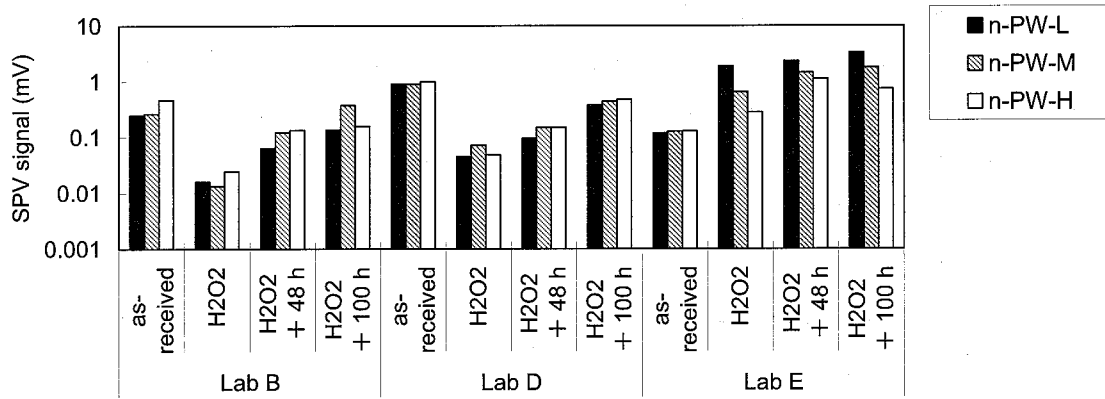


Figure A.7—SPV Signals (at wafer center) in n-Type Samples after Each Surface Treatment - Illuminating Light Wavelength: 0.8 (m)

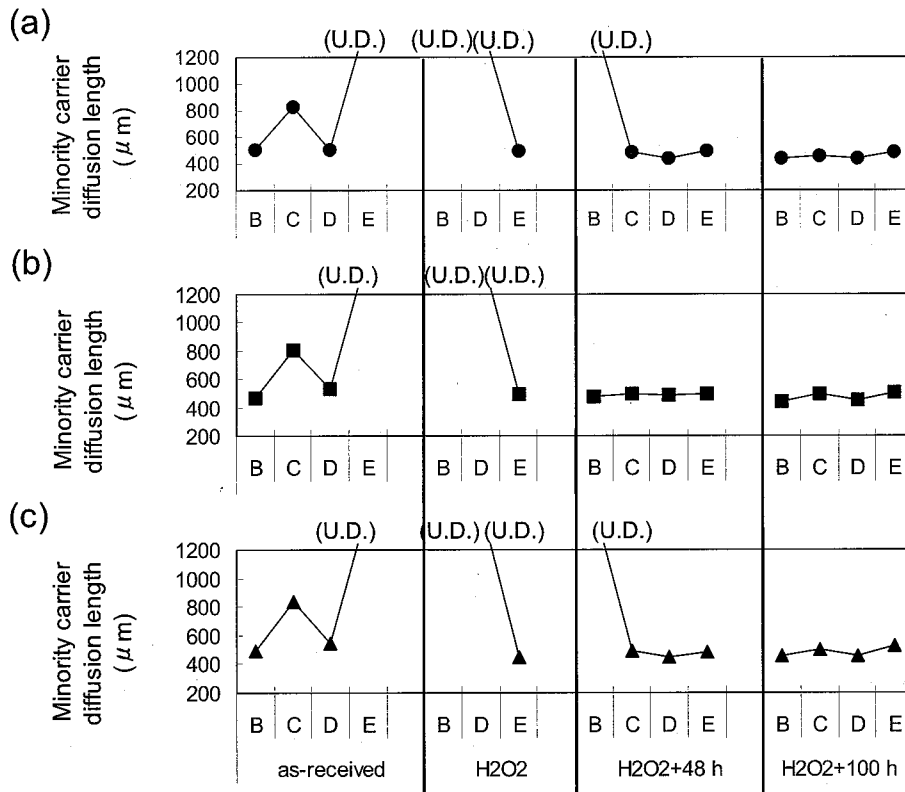


Figure A.8—Minority Carrier Diffusion Length Measurements in n-Type Samples after Each Surface Treatment—Average of the Five Measurement Points. (a) n-PW-L (b) n-PW-M (c) n-PW-H

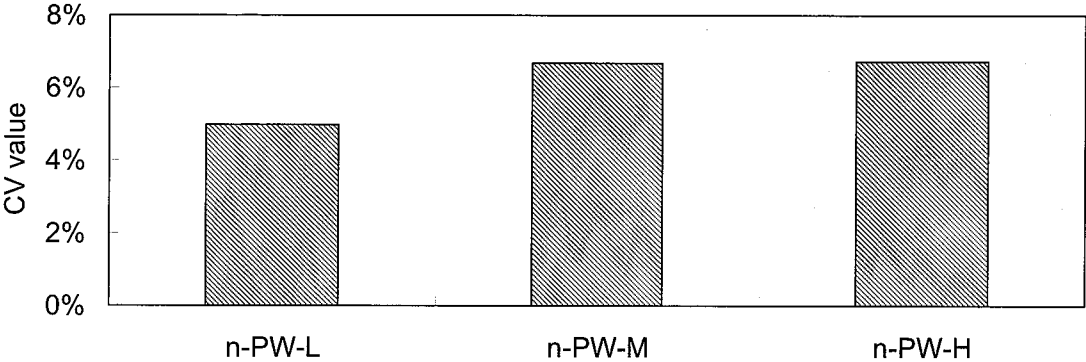


Figure A.9—Interlaboratory Variance in Minority Carrier Diffusion Lengths in the As-Received Samples and after H2O2 + 100-Hour Standing Time

Explanation for Sample preparation method for minority carrier diffusion length measurement in silicon wafers by surface photovoltage method

This explanation is not part of this JEITA standard. The discussion that follows provides descriptions of items defined or detailed in the standard body or in the **Annex** as well as other related topics.

1 Background to the Formulation of this Standard

Shrinkage and advanced integration of semiconductor components demand lower metal contamination levels in component-fabrication processes and in base silicon wafer substrates. The industry has for some time widely employed surface photovoltage (SPV) measurements of minority carrier diffusion lengths as a technique to assess metal impurities in silicon wafers. Samples, however, often require surface preparation prior to SPV measurements because SPV measurements are sensitive to surface conditions. An associated problem is that surface characteristics of samples tend to change over time after preparation, so samples must be left until their surfaces stabilize. Together these factors created the need for standardization of a stable preparation method with reduced standing times.

2 Progression of the Standard's Establishment

The SPV Preparation Standardization Working Group (WG) was established in April 2003 under JEITA's Wafer Measurement Standard Technical Committee. The WG put together a three-stage plan to undertake standardization.

- (1) Expose problem areas with conventional preparation methods through surveys of and tests at laboratories participating in the WG.
- (2) Examine methods of reducing standing times after preparation.
- (3) Conduct round-robin tests of the methods discovered in Stage 2 and ascertain the variance among laboratories.

A draft standard was prepared based on the activities above. The standard was formulated in July 2005 after written deliberations by the Silicon Technology Committee and the Wafer Measurement Standard Technical Committee.

3 Industrial Property Rights Matters

The standard asserts the fact that Semiconductor Diagnostics, Inc. has established a patent on the LPVCPF method listed in **Section A.2.3 of Annex A**.

Japanese Patent Application No. H1-217186

Japanese Patent Publication No. H2-119236

Japanese Examined Patent Application Publication No. H7-44209

Note that JEITA does not guarantee that in addition to that asserted above there are no other industrial property rights asserted in connection with this standard. JEITA assumes no responsibility whatsoever concerning industrial property rights in connection to the content of this standard.

4 Underlying Principles

4.1 SPV Measurements of Minority Carrier Diffusion Lengths

The SPV method illuminates the sample to inject excess carriers and then finds the minority carrier diffusion length from the resulting change in surface potential (surface photovoltage). The procedure for this method is defined in SEMI MF391-02^[1]. In this procedure, the sample is illuminated with monochromatic light of several different wavelengths. The minority carrier diffusion length, L, is found from the relationship between the SPV signals, ΔV, generated in response to each wavelength of illuminated light and the light absorption coefficient of silicon, α. In theory, Equation (1) describes this relationship

$$\Phi_{\text{eff}}/\Delta V = A (S + D/L) (1 + L/\alpha) \dots\dots\dots (1)$$

where Φ_{eff} is the effective photon flux, ΔV is the magnitude of the SPV signal, S is the surface recombination rate, D is the diffusion coefficient of minority carriers. Note that when the surface is depleted:

$$A = (qn_0/kT) \exp (qV/kT) \dots\dots\dots (2)$$

and when the surface is inverted:

$$A = qn_i^2 / (kTn_0) \dots\dots\dots (3)$$

In these last two equations, q is the electron electric charge, n₀ is the unilluminated free carrier concentration in the bulk, k is the Boltzmann constant, V is the surface barrier height, and n_i is the intrinsic free carrier concentration^[2]. It follows from Equation (1) that the relationship between Φ_{eff}/ΔV and α⁻¹ can be regressed to a linear line and that the minority carrier diffusion length can be found from this regression line.

SPV minority carrier diffusion length measurements are also used to measure Fe concentrations in B-doped p-type silicon wafers. Fe forms Fe-B pairs in B-doped p-type silicon at room temperature. However, interstitial Fe donors and substitutional B are disassociated by annealing at about 200°C or by illumination to strong light (Fe activation). Zoth and Bergholz^[3] demonstrated that Fe concentrations can be calculated with Equation (4) using the modulation in minority carrier diffusion length before and after activation.

$$[\text{Fe}] = (D_n/f) ((C_n (\text{Fei}) - C_n (\text{FeB}) / \exp [E_F - 0.1\text{eV}/kT])^{-1} \times (L_1^{-2} - L_0^{-2}) \dots\dots\dots (4)$$

In this equation, the units of [Fe] are cm⁻³, L₀ is the minority carrier diffusion length before Fe activation, and L₁ is the minority carrier diffusion length after Fe activation (both L₀ and L₁ are in μm). D_n is the electron diffusion coefficient, and E_F is the Fermi level of the sample. f is the ratio of Fe-B pairs disassociated with Fe activation, and C_n (Fei) and C_n (FeB) are the electron-capture coefficients of interstitial Fe and Fe-B pairs respectively.

Note In Equation (4), Zoth and Bergholz assumed that of the two energy levels at which Fe-B pairs form (E_v + 0.1 eV and E_c - 0.29 eV) EV+0.1 eV acts as the dominant factor in recombination. How each of these energy levels affects the minority carrier diffusion length is still under debate^[4]. Nevertheless, it is known^[3] experimentally that the value of (D_n/f) ((C_n (Fei) - C_n (FeB) / exp [E_F - 0.1eV/kT])⁻¹ is in the vicinity of 1 × 10¹⁶.

4.2 Disadvantages with Conventional Preparation Methods

SPV measurements require that a depletion layer or an inversion layer exist at the sample surface. The depletion layer or inversion layer is formed by the presence of a positive charge, for p-type wafers, or a negative charge, for n-type wafers, at the sample surface. Consequently, conventional preparation methods have treated p-type wafer surfaces with hydrofluoric acid and have boiled n-type wafers in hydrogen peroxide^[1]. It is known, however, from experience that with these methods the surface characteristics change with time after processing, requiring the samples to be set aside for a time to get accurate SPV measurements.

This WG conducted experiments to confirm the temporal changes in SPV signals and in measurement results of minority carrier diffusion lengths. The surface treatments in given **Explanatory table 1** were applied to the plain-oriented (100) 200-millimeter-diameter Czochralski (CZ) silicon wafers listed in **Table A.1** of **Annex A**. Following the surface treatments, temporal changes were investigated by assessing surface barrier heights with a contact - potential - difference measurement^[5] and measuring minority carrier diffusion lengths with SPV. The Linear Photovoltage, Constant Photon Flux (LPVCPF) SPV method, defined in **SEMI MF391-02**, was used to measure minority carrier diffusion lengths. This method uses seven wavelengths ranging from 0.8 μm and 1.0 μm for the incident light. Note also that no correction was applied for the effect of wafer thickness on minority carrier diffusion length measurements.

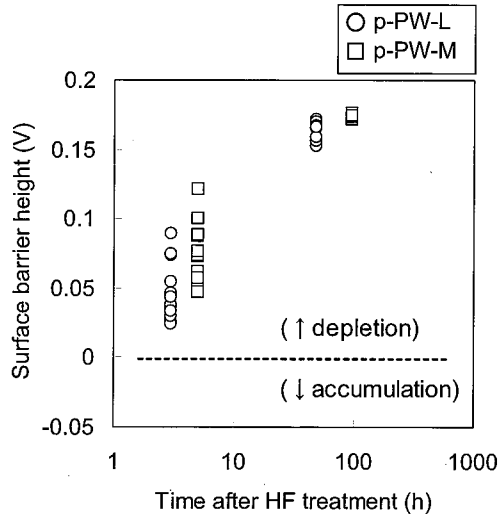
The samples were stored in a silicon-wafer shipping container between measurements. Samples were left in cleanrooms between 23°C and 25°C at a relative humidity of 40 percent.

Explanatory table 1—Preparation Conditions for Experiments to Ascertain Disadvantages of Conventional Methods

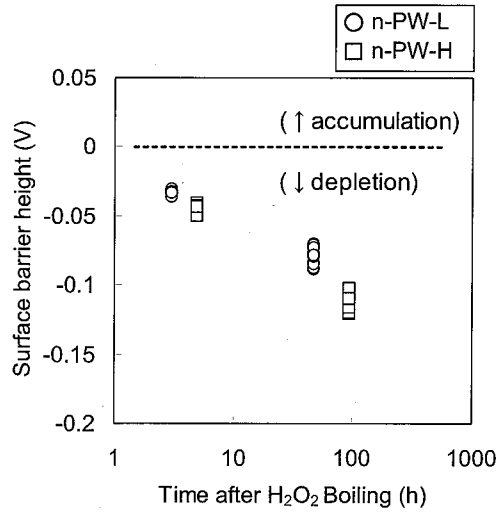
	Surface treatment sequence	Drying
P type	HF (5%), room temp., 2min. →UPW rinse, room temp., 10min.	Spin-dryer
N type	HF (5%), room temp., 2min. →UPW rinse, room temp., 10min →H ₂ O ₂ (30%), 70-80 °C, 10min. →UPW rinse, room temp., 10min.	Spin-dryer

Explanatory figure 1 shows the results of measuring the surface barrier height in 13 points on the wafer surface. In both p types and n types, the barrier became lower a number of hours after the surface treatment. The variance in barrier heights was particularly pronounced in the p-type samples.

Explanatory figure 2 and **Explanatory figure 3** show the results of examinations at three laboratories on the temporal changes, seen after treating p-type samples with hydrofluoric acid, in minority carrier diffusion lengths in terms of the average and the variance (CV values) of the five measurement points. Measurements of minority carrier diffusion lengths changed dramatically immediately after the surface treatment and only stabilized after about one day. The in-sample variances also declined with time and stabilized after about one day. All three testing laboratories confirmed these temporal changes. Because all surface treatments and storage of the p-type samples were conducted at room temperature, it is unlikely the changes in variances and minority carrier diffusion lengths occurred within the samples; therefore, changes in surface conditions are believed to cause these temporal changes.

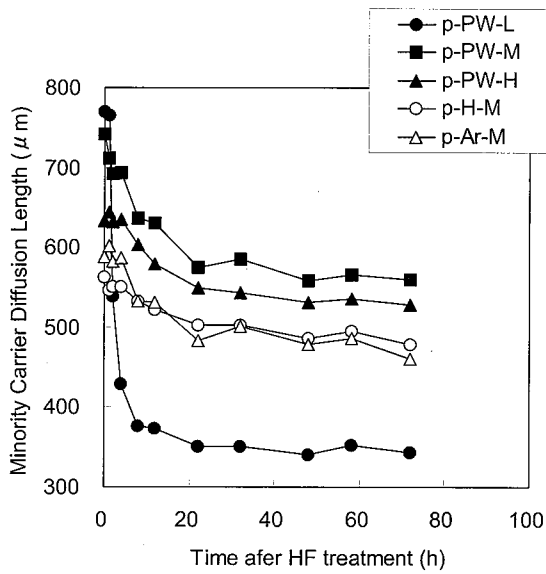


(a) p-Type Samples

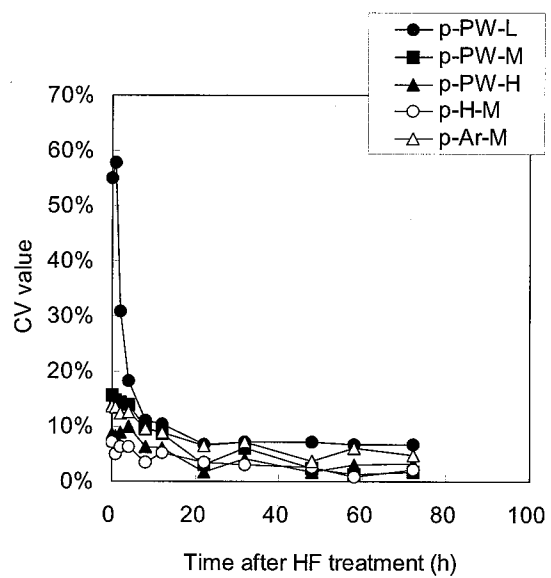


(b) n-Type Samples

Explanatory figure 1 – Temporal Changes in Surface Barrier Heights after Surface Treatment

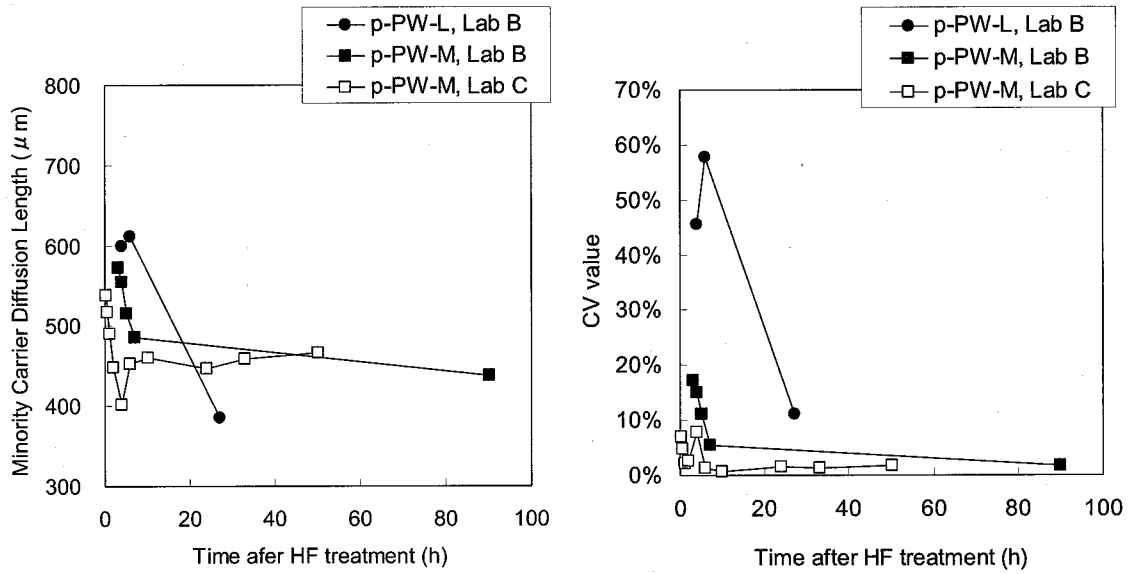


(a) Average of Five Points



(b) Variance (CV Value) of Five Points

Explanatory figure 2 – Results of Examining Temporal Changes in Minority Carrier Diffusion Lengths at Laboratory A



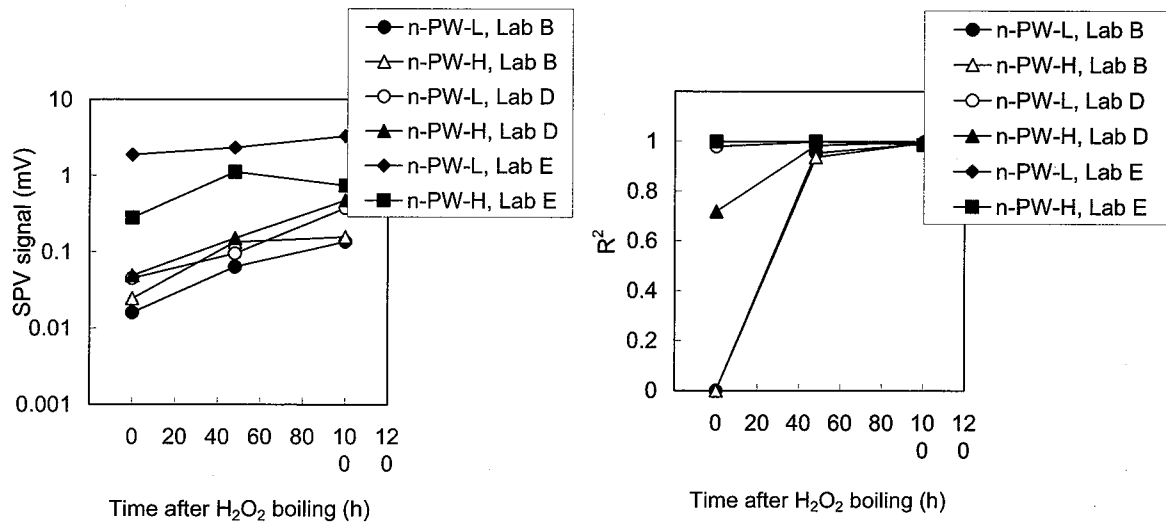
(a) Average of Five Points

(b) Variance (CV Value) of Five Points

Explanatory figure 3 – Results of Examining Temporal Changes in Minority Carrier Diffusion Lengths at Laboratories B and C

Explanatory figure 4 shows data related to the temporal changes seen in n-type samples in SPV measurements and in minority carrier diffusion length measurements. This data was taken from the results of the round-robin testing described in **Annex A**. **Explanatory figure 4 (a)** gives the temporal changes in SPV signals corresponding to the shortest illuminating light wavelength (0.8 μm) obtained with the LPVCPF method. These are the results from one measurement in the center of the wafers. The SPV signals become larger the longer the samples are left after surface treatment. Large differences are also seen in the intensity of SPV signals among the laboratories. These differences are believed to be caused by variations in the metal impurity concentrations at the sample surfaces, which result from differences in the purity of environments and reagents used for surface processing, besides differences in equipment settings such as the light intensity. Many minority carrier diffusion lengths of samples from Laboratory B and Laboratory D, where the smallest SPV signals were recorded, could not be measured because of the poor correlation coefficient ($R^2 < 0.98$), shown in **Explanatory figure 4 (b)**, after taking the linear regression of the relationship of the SPV signal and the light absorption coefficient immediately after surface treatment.

These results confirm that conventional surface treatments suffer from temporal changes after processing, and these temporal changes affect measurements of minority carrier diffusion lengths in both p-type and n-type samples.



(a) SPV Signal Strengths at 0.8 μm Wavelength (b) Linear Regression Correlation Coefficients
Explanatory figure 4—Temporal Changes after Surface Treatment on n-Type Samples

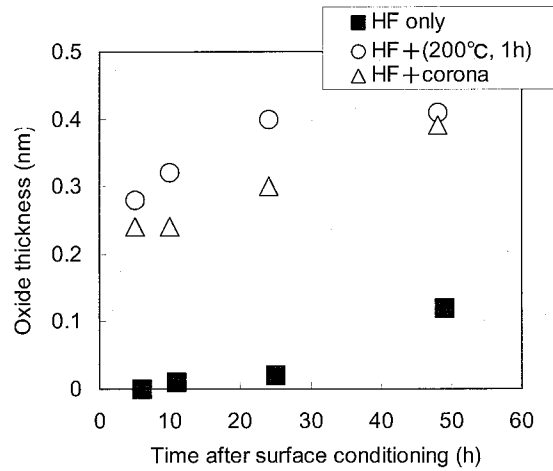
4.3 Sample Preparations Defined in this Standard

43.1 Preparation of p-Type Samples

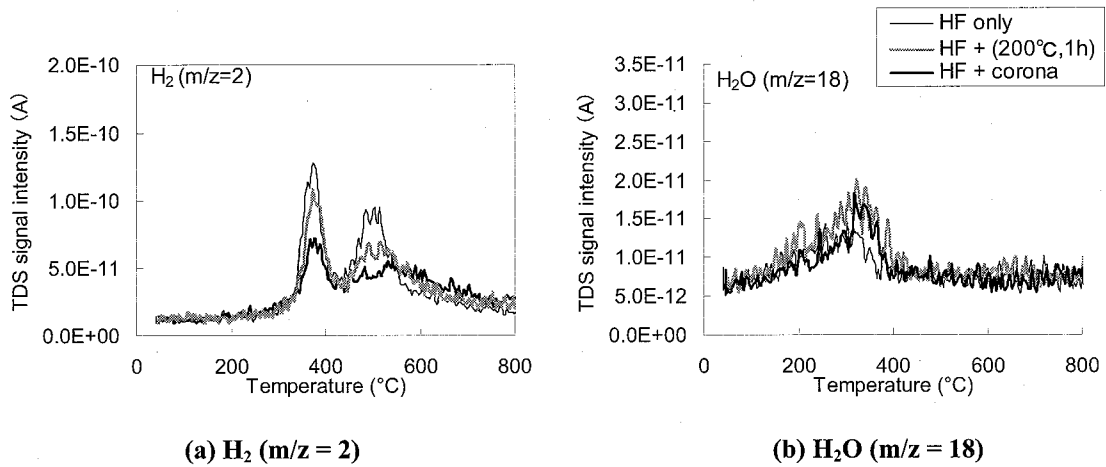
The WG considered the formation of a native oxide and the adsorption/desorption of moisture and organic materials might be the sources of the temporal changes occurring after hydrofluoric acid solution processing. Therefore, the WG examined whether annealing could promote oxide growth or moderate temporal changes associated with moisture and organic materials. At the same time, corona discharges were investigated since it is known by experience stable sample surfaces without temporal changes can be obtained by applying a corona discharge to samples after hydrofluoric acid processing.

Explanatory figure 5 compares the temporal changes in the native oxide thicknesses after hydrofluoric acid solution processing with those in the native oxide thicknesses obtained after applying further annealing or corona discharges to the samples. In this examination, annealing was carried out in a cleanroom for one hour at 200°C. The corona discharge operation subjected samples to a charge of + 3000 nC/cm². Oxide thicknesses were measured with x-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Where the samples subjected to hydrofluoric acid processing exhibited only gradual native oxide growth, oxides had grown on the samples subjected to hydrofluoric acid processing and the subsequent annealing or corona discharge. Although the objective of the corona discharge itself is to shower the wafer with charged molecules from the air, it is suspected that the ozone produced by the corona discharge is what drives oxide growth.

Evaluation with thermal desorption spectroscopy (TDS) was also carried out in parallel with the above XPS. Because the organic material in all samples was below detection thresholds, H₂ ($m/z = 2$) and H₂O ($m/z = 18$) were detected as primary desorption gases. **Explanatory figure 6** and **Explanatory figure 7** show the H₂ and H₂O signals detected from the samples 5 to 6 hours after and two days after the surface treatment.



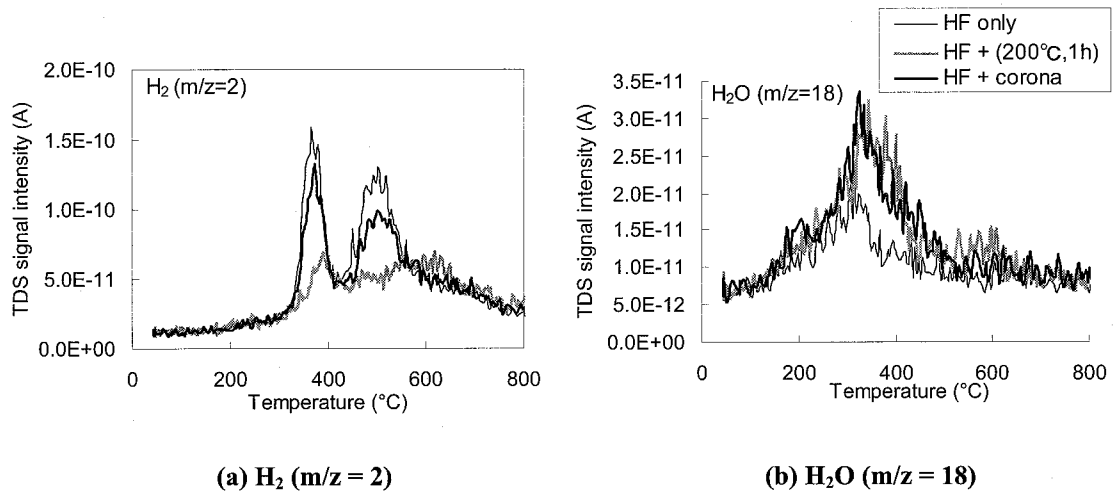
Explanatory figure 5—Oxide Thicknesses Calculated from XPS Signals—Sample: p-PW-L



(a) H₂ (m/z = 2)

(b) H₂O (m/z = 18)

Explanatory figure 6—TDS Evaluations 5 to 6 Hours after Surface Treatment—Sample: p-PW-L



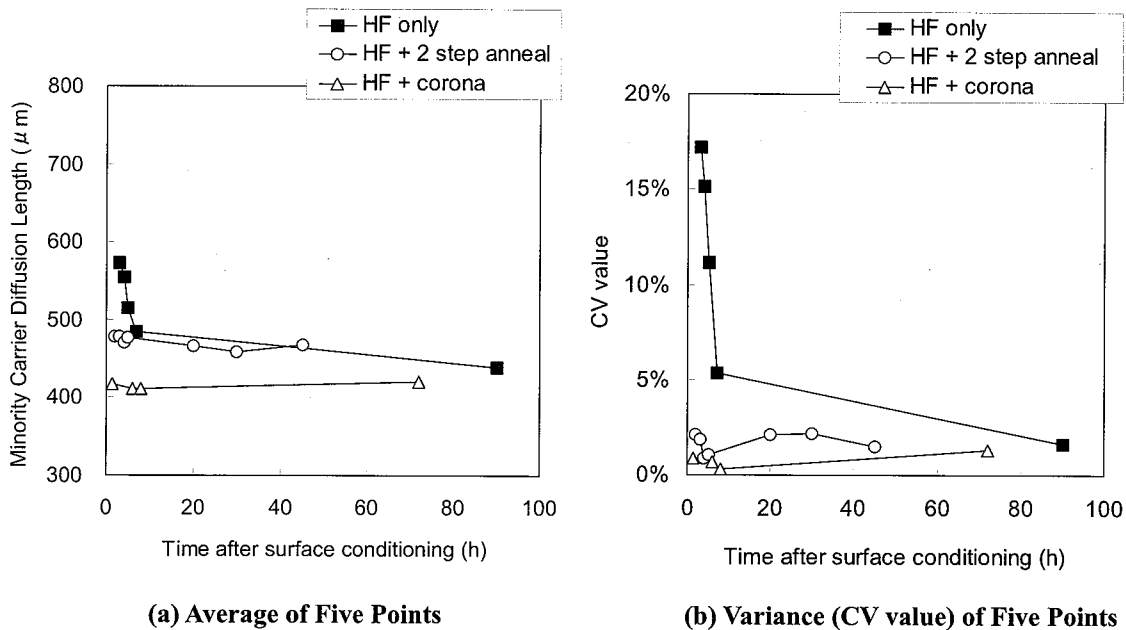
(a) H₂ (m/z = 2)

(b) H₂O (m/z = 18)

Explanatory figure 7—TDS Evaluations Two Days after Surface Treatment—Sample: p-PW-L

After five to six hours passed, the highest hydrogen intensities were detected on the samples exposed to hydrofluoric acid solution processing only, on which the surface is terminated with hydrogen. Conversely, lower amounts of moisture were detected in the HF-only samples than in the samples that underwent additional annealing or corona discharge and were already growing oxides. After two days passed, the differences among the processes were less pronounced. These changes in the adsorption amounts of hydrogen and water are thought to correspond with the growth of the native oxide.

These results confirm that the growth of native oxides and the accompanying process of hydrogen and moisture adsorption/desorption differ between samples treated only with hydrofluoric acid and samples treated with hydrofluoric acid followed by annealing or corona discharge. **Explanatory figure 8** gives an example of the surveyed temporal changes using SPV minority carrier diffusion length measurements from p-type samples treated with these different surface preparation methods. Two-step annealing was applied to the samples after the hydrofluoric acid solution treatment - one hour at 200°C followed by 80°C for one hour. One-step annealing would be sufficient if the goal was only to promote oxide growth. The first annealing treatment, however, disassociates Fe-B pairs in the sample that later gradually recombine when the sample is left at room temperature. This recombination produces a corresponding temporal change, the cause of which is impossible to isolate to either surface changes or internal changes. Therefore, a second 80°C annealing treatment is used to recombine the disassociated Fe and B ions. The results show no significant temporal changes after two-step annealing or corona discharge.



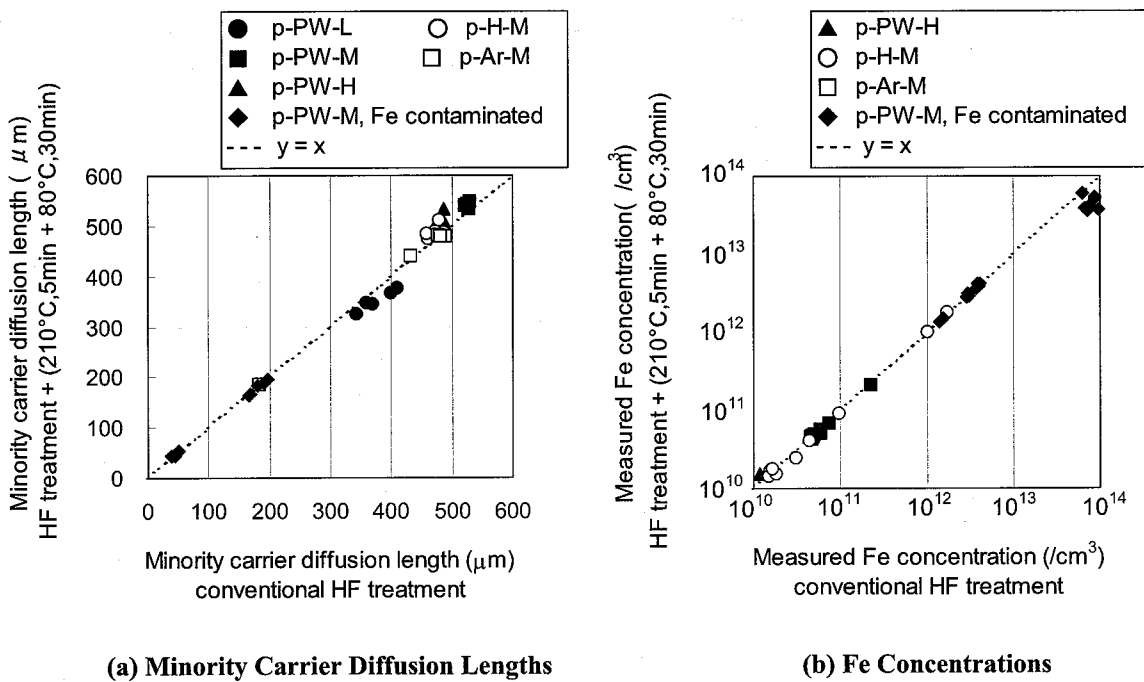
Explanatory figure 8—Temporal Changes in Minority Carrier Diffusion Lengths after Surface Treatment

The WG selected the hydrofluoric acid solution treatment plus annealing method from the two preparation methods confirmed to curb temporal changes. The WG next examined the conditions under which processing could be performed in a short time.

While it is a necessary condition of any annealing method that it grows an adequate oxide layer, it is known^[6] that Fe precipitation within a sample progresses as annealing temperatures near 200°C, causing changes to the

sample's internal characteristics. For this reason, annealing must be kept as short as possible. After examining conditions that could balance these two contradictory factors, the WG found that performing two-step annealing—210°C for 5 minutes and 80°C for 30 minutes—in a cleanroom atmosphere was ideal.

Explanatory figure 9 compares measurements of minority carrier diffusion lengths and Fe concentrations in samples treated with a hydrofluoric acid solution, the conventional preparation practice, and left for one day or more in a cleanroom atmosphere and in samples that underwent 210°C/5-minute + 80°C/30-minute annealing in a cleanroom atmosphere after the hydrofluoric acid treatment. This comparison used the samples from **Explanatory table 1** as well as a p-PW-M sample intentionally contaminated with Fe. The comparison in **Explanatory figure 9** uses the measurement results at each of the five or nine measurement points per sample. The minority carrier diffusion length measurements show good correlation with the conventionally prepared samples, with variances limited to 20 percent or less. Samples with Fe concentrations ranging from 1×10^{10} to $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ also showed a close Fe-concentration-measurement correlation of 20 percent or less with the conventionally prepared samples. But samples nearing $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ tended to give lower Fe concentration measurements than conventionally prepared samples. This phenomenon is thought to be caused by the annealing process driving Fe precipitation when Fe concentrations are high.



Explanatory figure 9—Comparison of p-Type Sample Measurements after Conventional Surface Treatment and after Hydrofluoric Acid Treatment + 210 °C/5-minute 80 °C/3-minute Annealing

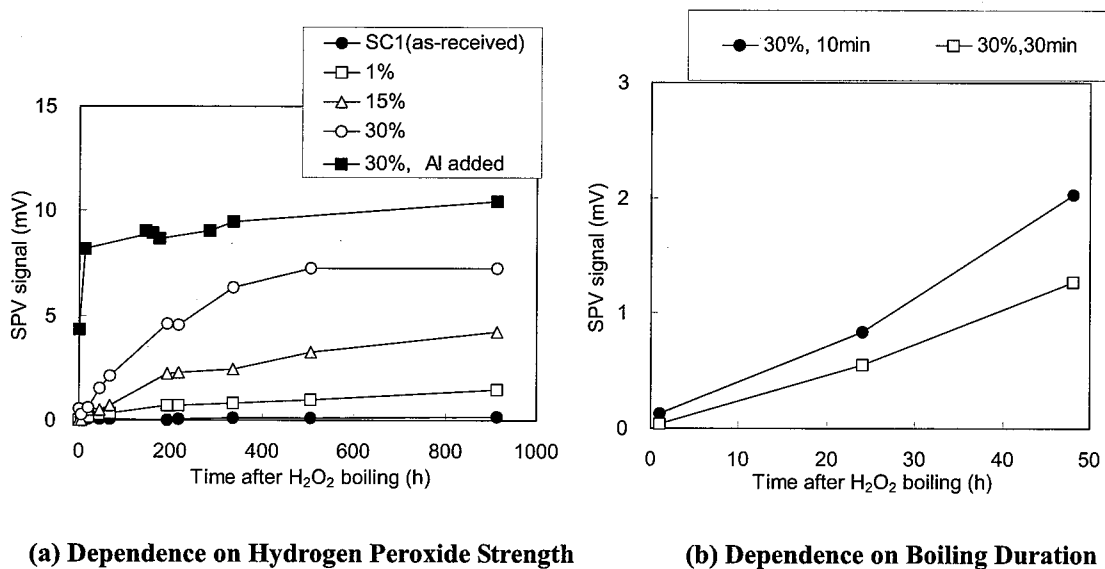
4.3.2 Preparation of n-Type Samples

The WG examined the relationship of the basic parameters when boiling n-type samples in hydrogen peroxide—hydrogen peroxide concentration and boiling duration—with SPV signals. In parallel with this, the WG investigated the effects of adding aluminum to the hydrogen peroxide solution.

Explanatory figure 10 (a) shows the SPV signals from n-type samples after boiling for 10 minutes in one-percent, 15-percent, and 30-percent hydrogen peroxide solutions as well as the SPV signals after boiling for 10

minutes in a 30-percent hydrogen peroxide solution with Al additives. The SPV signal measurements were taken at an illuminating light wavelength of 0.8 μm . The sample processed with the 30-percent solution of hydrogen peroxide with Al additives had an Al surface concentration of $2.3 \times 10^{13}/\text{cm}^2$. The higher the hydrogen peroxide concentrations, the larger the SPV signals. The Al-added solution produced even larger SPV signals. Regardless of the concentration, however, temporal changes were seen for weeks after treatment.

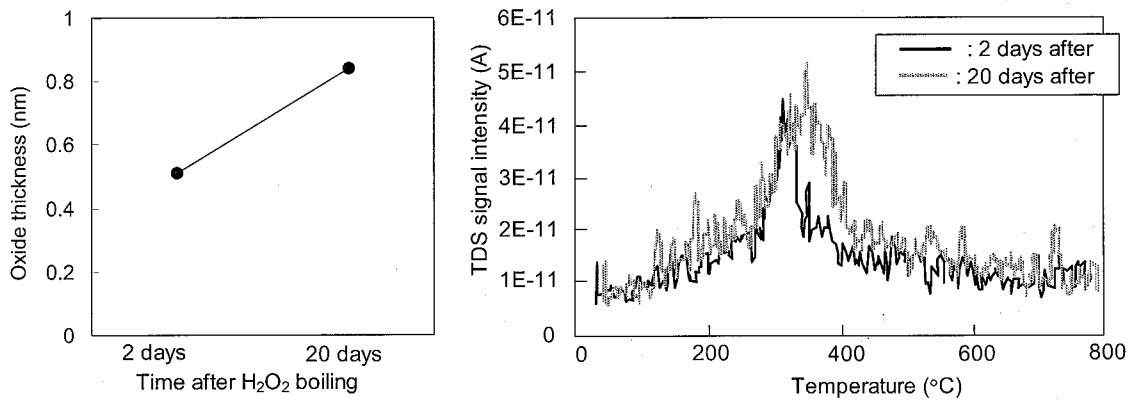
Explanatory figure 10 (b) shows the dependence of SPV signals on the length of time the samples were boiled in a 30-percent hydrogen peroxide solution. However, even extending the boiling duration to 30 minutes did not contribute to larger SPV signals.



Explanatory figure 10—SPV Signals Versus Hydrogen Peroxide and Boiling Duration Conditions - Sample: n-PW-L

Explanatory figure 11 shows the results of XPS and TDS evaluations of oxide thicknesses and moisture adsorption amounts in samples boiled for 10 minutes in a 30-percent hydrogen peroxide solution without Al additives. Both oxide growth and increased moisture adsorption are seen after the hydrogen peroxide treatment. **Explanatory figure 12** shows the surveyed temporal changes in SPV signals after annealing wafers that had already been treated in hydrogen peroxide. This data suggests SPV signals are dependent on surface moisture adsorption levels. For this investigation, two-step annealing—300°C for five minutes and 80°C for 30 minutes—was applied in a cleanroom atmosphere. The annealing lowered the SPV signals temporarily, but the SPV signals recovered when left at room temperature in a cleanroom after annealing. This reversible heat dependency is thought to be the moisture-adsorption contribution to the increase in SPV signals.

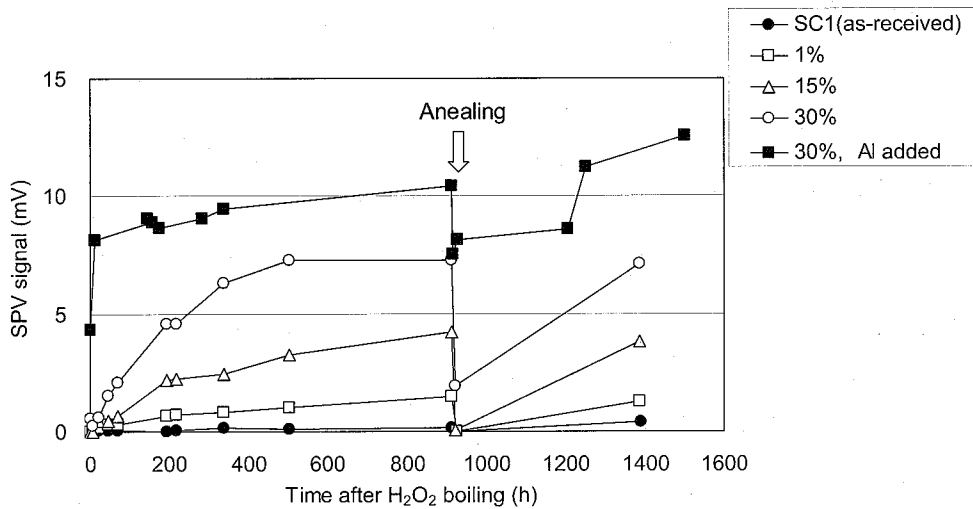
Because of these results, the purity of reagents and ultrapure water, the sources of metal impurities, and the temperature and humidity levels of the cleanroom where samples are stored are viewed to have a large influence when n-type samples are processed with hydrogen peroxide. Thus, letting the samples stand for 100 hours or more after hydrogen peroxide treatment was adopted as the standard method in line with the laboratory in the round-robin testing requiring the longest standing time to obtain large SPV signals.



(a) XPS Oxide Thickness Measurements

(b) H₂O (m/z = 18) TDS Signals

Explanatory figure 11 – Temporal Changes of Oxide Thicknesses and Moisture Adsorption Amounts in n-Type Samples Processed with Hydrogen Peroxide – Sample: n-PW-L



Explanatory figure 12 – Influence of Annealing on SPV Signals in n-Type Samples Processed with Hydrogen Peroxide (300 °C/5-minute and 80 °C/30-minute annealing was performed in a cleanroom atmosphere) – Sample: n-PW-L

5 Special Issues Arising in WG Deliberations

The next sections detail special issues that arose during deliberations at the WG.

- a) **Preparation of p-Type Samples** Section 4.3.1 of the **Explanation** revealed several preparation techniques capable of limiting temporal changes by oxidizing p-type samples after the hydrofluoric acid solution treatment. In addition to stabilizing samples with annealing, oxidizing surfaces with corona discharging, ozone gas, or ozone water have the potential of being successful preparation methods leading to favorable SPV measurements. The reproducibility of such methods, however, would be difficult to verify through round-robin testing because of the possible dependence of preparation conditions on oxidizing apparatus specifications and because only a few WG laboratories had access to the necessary oxidizing apparatus. For these reasons, the WG decided to standardize hot-plate or oven annealing, an oxidizing method that all participating laboratories could employ.

b) Preparation of n-Type Samples It is known that introducing Fe, Al, and other metal contaminants in the oxide layer forms a negative charge and increases SPV signals in n-type samples^[7]. Exploiting this phenomenon, we considered a method in which samples are boiled in hydrogen peroxides with Fe or Al added intentionally. Unfortunately, this method led to Fe and Al contamination of the reagent bath used for hydrogen peroxide boiling and the water bath for ultrapure water rinsing, prompting fears of adverse effects on other surface treatments, such as p-type sample preparation, that share the same equipment. For this reason, the WG decided to pursue standardization without resorting to the addition of metal impurities.

6 Discussion of Requirements in the Standard

6.1 Outline of Preparation Methods (Section 5 of the Standard)

See Section 4 of the Explanation.

6.2 Operating Conditions (Section 6 of the Standard)

It was decided that preparation procedures take place inside a cleanroom because SPV signals are affected by Fe, Al, and other metal contaminants on sample surfaces and are influenced by the humidity (moisture) conditions of the sample surfaces.

6.3 Samples (Section 7 of the Standard)

Annealing temperatures at or in excess of 200°C cause Fe precipitation in p-type silicon wafers with high Fe concentrations. As a result, SPV measurements give lower readings of Fe concentrations than actually exist. The upper Fe concentration limit of $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ on p-type samples was determined based on the experiments from Section 3.3.1 of the Explanation.

6.4 Reagents (Section 8 of the Standard)

The purity of reagents and other chemicals was defined because SPV signals are sensitive to surface contamination by Fe, Al, and other metals.

6.5 p-Type Silicon Wafers (Section 10.1 of the Standard)

Samples must be quickly cooled to room temperature following the first 210°C 5-minute annealing step of the two-step annealing process after the hydrofluoric acid solution treatment. This is done to stop the progress of Fe precipitation within the sample, which would continue if the sample was left at temperatures close to 200°C. Furthermore, it was decided to store p-type samples while exposed to a cleanroom atmosphere over the period from preparation to measurement because sealing samples in plastic shipping boxes could contaminate the surfaces with organic material and thereby lower the surface barrier height of the samples^[8].

7 Bibliography

- [1] SEMI MF391-02 "Test Method for Minority Carrier Diffusion Length in Extrinsic Semiconductors by Measurement of Steady-State Surface Photovoltage"
- [2] L. Jastrzebski, O. Milic, M. Dexter, J. Lagowski, D. DeBusl, K. Nauka, R. Witowski, M. Gordon and E. Presson, Proc. of 2nd Int'l Symp. on Cleaning Technology in Semiconductor Device Manufacturing, The Electrochemical Society, Inc., Pennington, NJ, PV92-12 (1992) 294
- [3] G. Zoth and W. Bergholz, J.Appl.Phys, vol.67 (1990) 6764
- [4] P. Geranzani, M.Porrini, G. Borionetti, R. Orizio and R. Falster, J. Electrochem. Soc., vol.146 (1999) 3494

- [5] M.Wilson, J.Lagowski, A.Savthouk, L.Jastrozebski and J.D'Amico : "Gate Dielectric Integrity : Material, Process, and Tool Qualification", ASTM STP 1382, D. C. Gupta, G. A. Brown, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, (2000)74.
- [6] K. Graff and H. Pieper, J. Electrochem. Soc., Vol.128, (1981) 669
- [7] H. Shimizu and C. Munakata: "In-Line Characterization Techniques of Performance and Yield Enhancement in Microelectronics II", Proc. of SPIE (The International Society of Optical Engineering), 3959 (1998) 96.
- [8] M. Kohno, T. Kitajima, S. Hirae and S. Yokoyama, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.42 (2003) 5837

Committee member

Managing Committee on Information Technology Standardization

Chairman Naoyuki Ishigaki NEOMAX Co., Ltd.

Silicon Technologies Committee

Chairman	Michio Tajima	ISAS / JAXA
Co-Chairman	Toshihiko Kanayama	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Co-Chairman	Hiroshi Koyama	JEOL Ltd.
Member	Naohisa Inoue	Osaka Prefecture University
Member	Atsushi Ogura	Meiji University
Member	Tetsuo Fukuda	Fujitsu Ltd.
Member	Morimasa Miyazaki	Sumitomo Mitsubishi Silicon Corporation
Member	Yukio Matsumoto	Accent Optical Technologies Co., Ltd.
Member	Kazuto Hirokawa	Ebara Corporation
Member	Kohei Eguchi	MEMC Japan Ltd.
Member	Kenichi Shindo	KURODA Precision Industries Ltd.
Member	Yasuhide Nakai	Kobelco Research Institute, Inc.
Member	Mitsuo Kohno	Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.
Member	Ritsuo Takizawa	Sony Corporation
Member	Moriya Miyashita	Toshiba Corporation
Member	Yoshiaki Matsushita	Toshiba Ceramics Co., Ltd.
Member	Masanori Yoshise	Japan ADE Ltd.
Member	Tomohisa Kitano	NEC Electronics Corporation
Member	Naoyuki Kawai	Renesas Technology Corporation
Member	Keiichi Yoshizumi	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
Member	Hiroshi Ohishi	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
Member	Hisashi Katahama	Sumitomo Mitsubishi Silicon Corporation
Member	Yasumitsu Ota	Siltronic Japan Co., Ltd.
Member	Eiji Uchida	Oki Electronic Industry Co., Ltd.
Member	Takao Takenaka	Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.
Member	Hisashi Isozaki	TOPCON Corporation
Member	Masaharu Watanabe	SEZ Japan
Member	Hideo Sakai	RAYTEX Corporation

Adviser	Yasuo Tarui	The Takeda Foundation.
Secretariat	Makoto Nakase	Japan Electronics and Information Technology Industries Association
Secretariat	Kenichi Takanashi	Japan Electronics and Information Technology Industries Association
Secretariat	Hideki Sato	Japan Electronics and Information Technology Industries Association
Secretariat	Akira Yoshida	Japan Electronics and Information Technology Industries Association

Wafer Measurement Standard Technical Committee

Chairman	Morimasa Miyazaki	Sumitomo Mitsubishi Silicon Corporation
Member	Naohisa Inoue	Osaka Prefecture University
Member	Noriaki Takenawa	Accent Optical Technologies Co., Ltd.
Member	Norio Nakamura	MEMC Japan Ltd.
Member	Shingo Sumie	Kobelco Research Institute, Inc.
Member	Kei Matsumoto	Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.
Member	Masaru Shinomiya	Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.
Member	Gen Sakoda	Sony Corporation
Member	Ryuji Takeda	Toshiba Ceramics Co., Ltd.
Member	Shigeaki Saito	Renesas Technology Corporation
Member	Hiroshi Kaneta	Fujitsu Laboratories Ltd.
Member	Kenji Yoneda	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
Member	Masaharu Watanabe	SEZ Japan
Member	Daisuke Gotoh	Japan ADE Ltd.
Guest Member	Hiroshi Koyama	JEOL Ltd.
Guest Member	Kenichi Kawai	Kawai Standard Consulting
Secretariat	Kenichi Takanashi	Japan Electronics and Information Technology Industries Association
Secretariat	Hideki Sato	Japan Electronics and Information Technology Industries Association

Pre-treatment of SPV WG

Chairman	Kei Matsumoto	Komatsu Electronic Metals Co., Ltd.
Member	Toru Takahashi	MEMC Japan Ltd.
Member	Yasumitsu Ota	Siltronic Japan Co., Ltd.
Member	Takeshi Sunakawa	Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.
Member	Masahiro Narita	Toshiba Ceramics Co., Ltd.
Member	Daisuke Gotoh	Japan ADE Ltd.

Member	Kazuhiro Fusegawa	Sumitomo Mitsubishi Silicon Corporation
Secretariat	Kenichi Takanashi	Japan Electronics and Information Technology Industries Association
Secretariat	Hideki Sato	Japan Electronics and Information Technology Industries Association

(社)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。

(社)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対して、一切の責任を負いません。

JEITA EM - 3509

2005年7月発行

発行 (社)電子情報技術産業協会 標準・技術部
〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 3-11
TEL 03-3518-6434 FAX 03-3295-8727

印刷 (有)ウイード
〒162-0041 東京都新宿区早稲田鶴巻町 556
TEL 03-3513-5751 FAX 03-3513-5752

禁 無 断 転 用

〔 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ください。 〕