

イオン注入によるアモルファスシリコンの 回復速度の温度依存性評価

山澤 一彰¹, 新井 優¹, 柴田 聡², 南部 優子², 泉谷 寿樹³, 森田 剛夫³

(平成18年3月31日受理)

Evaluation of the temperature dependency of the reordering rate of implanted amorphous Si

Kazuaki YAMAZAWA, Masaru ARAI, Satoshi SHIBATA, Yuko NAMBU, Hisaki IZUTANI, Takao MORITA

Abstract

In the recent years, the importance of relatively low process temperatures ranging from 400 °C to 600 °C is growing for the rapid thermal processes in semiconductor manufacturing. Measurement and evaluation techniques for the temperature distribution on the wafer surface within the manufacturing equipments are essential. Matsushita Electric Industrial Co., SEN Corporation and NMIJ/AIST have done research on a novel temperature measurement method, called the REAL method (Really Exposed Temperature Evaluation Using Reordering of Implanted Amorphous Si Layers). In this paper, we report the temperature dependency of the reordering rate of implanted amorphous Si that act as the temperature sensing element in the REAL method. Amorphous layers produced by three types of ion implantation conditions had a satisfactory repeatability, and wafers produced under these conditions could possibly be applied to temperature measurements. Since many factors of uncertainties still need further evaluation, trial calculations of the temperature measurement uncertainty of the REAL method based upon assumptions are also reported.

1. はじめに

半導体デバイスの高集積化、高性能化に伴い、極浅い接合形成が要求されている。このため、Si基板中にドーパントとして注入された不純物の拡散を最小限に抑制する必要があり、全ての加熱工程において従来と比較して低温化、短時間化が進んでいる。RTP(Rapid Thermal Process)では概ね400 °C前後から600 °Cの温度域が主に使用されており、処理時間も数十秒から数分以内と非常に短時間である。

また、ウェハの大口径化に伴い、製造プロセスの条件出しや、半導体製造装置内の加熱源（ヒータや光源ランプ等）の交換後の保守作業などの製造現場作業において、処理中のウェハ表面での温度分布の調整や確認の重要性が増している。温度計測法として、ウェハの表面に数本

の熱電対を接着したウェハ熱電対や、光ファイバをウェハの裏面に向けて導かれる光を放射温度計で計測する方法などが一般的に使用される。しかし、実際には温度計測を行う上で、真空チャンバ中の配線の引き回しや窓の曇りなどによる放射率の変化など様々な難しさがある。

松下電器産業、株式会社SEN、産業技術総合研究所（産総研）は、ウェハ表面温度分布計測の新しい計測法としてREAL法(Really Exposed Temperature Evaluation Using Reordering of Implanted Amorphous Si Layers)の開発および評価を行ってきた¹⁾⁵⁾。REAL法は、イオン注入でシリコン基板上に生成したアモルファス層が熱処理により回復（再結晶化）する物理現象を利用した手法であり、400 °Cから600 °Cの温度範囲について、温度プロファイルが急峻に立ち上がり／立ち下がりし、その間の温度値が一定の、ステップ状である熱処理中の温度を評価することができる。また、シリコン基板の回復量の面内分布を測定することにより温度分布を定量化する事ができる。

本報告では、REAL法で使用するアモルファス層の回

¹ 計測標準研究部門 温度湿度科

² 松下電器産業株式会社

³ 株式会社 SEN

復速度を評価した結果を報告する。また、多くの不確かさ要因についてさらに評価を行う必要があるが、参考のためにREAL法を用いた温度計測の不確かさについて仮定を基に試算を行った。

2. REAL法の原理と手順

シリコン基板上にイオン注入条件で作成したアモルファス層では、アモルファスの回復速度 R (nm/s) のアニール温度 T (K) に対する依存性は、2つの定数 a_1 , a_2 によりアレニウスの式の形で表される^{6),7)}。

$$R = a_1 \cdot \exp\left(\frac{-a_2}{T}\right) \quad (1)$$

回復速度の再現性が良くなる特殊なイオン注入条件で作成したアモルファス層を持つシリコン基板を測温ウェハと呼ぶ。測温ウェハを複数枚準備し、同じ処理温度設定値においてそれぞれ異なる処理時間にて熱処理を行う。この時、測温ウェハのアモルファス層の膜厚変化は、測温ウェハを装置にセットしてから取り出されるまでの全ての熱履歴に応じて変化をする。一方、回復速度は温度値に対して指数関数的に変化し、処理中の最高温度に敏感に反応する。製造装置の安定した昇温・降温のプロファイルが膜厚変化に影響しない程度に急峻で、かつプロファイル中の最高温度値である設定温度での安定した維持が可能であれば、ウェハ間の膜厚の差は最高設定温度での処理時間の差にのみ起因する事となる。この時、基板上の各点における回復速度を算出し、回復速度の温度依存性から温度値を逆算する事でその温度での面内温度分布の評価が可能となる。

実際、こうした手順で温度計測をするためには、下記の2工程に分けて行う。

工程 (1) 検量線の係数の評価：回復速度 R の温度依存性曲線 (検量線) の係数と、係数の不確かさを評価する準備の工程

工程 (2) 実際の温度計測：あらかじめ検量線およびその係数の不確かさが評価済みの作成条件で作成した測温ウェハを複数枚用意し、評価対象の半導体製造装置 (RTPなど) に同じ処理温度設定値において、各測温ウェハそれぞれ異なる処理時間にて熱処理を行い、回復速度から温度値を逆算する実際の温度計測の工程

本報告では、最終的に温度計測に使用しうる測温ウェ

ハの製造条件を探索する目的で、いくつかの異なるイオン注入条件で生成したアモルファス層について、それぞれ、上記工程 (1) の検量線の係数値およびその不確かさを評価した結果について報告する。また、参考のために工程 (2) までを総合したREAL法を用いた温度計測の不確かさについて仮定を基に試算を行う。

なお、イオン注入条件には、注入するイオン種、加速電圧、注入角など多くのパラメータがある。後述の評価結果でも述べるようにアモルファスの回復現象はイオン注入条件に大きく依存するが、この共同研究において産総研側はイオン注入条件のロット毎に符号を付した試料を産総研の加熱炉で熱処理する形で評価をした。ウェハのアモルファス層の膜厚測定は、株式会社SENにおいて堀場製作所製の分光エリプソメータを使用している。また、実際のRTP装置内の温度分布の測定結果については300 mmウェハの表面上で225点の温度値を計算し、温度分布のマップとして表示した例を別報に報告している³⁾。

3. 検量線の係数の評価

工程 (1) はさらに、工程 (1-1) 各温度での回復速度とその不確かさの決定の工程と、工程 (1-2) 検量線の係数およびその不確かさの決定の工程とに細分化される。また、個々の試料片について繰り返し測定を行わないため、(1) 式の係数の評価には、Type Aの評価による不確かさは計上せず、エリプソメータの膜厚測定の不確かさや最小二乗法で得られる係数の不確かさなどはType Bの評価による不確かさとして取り扱った。以下に検量線の係数評価のための実験装置と、各工程について評価方法を説明する。

3.1 評価のための装置

Fig. 1に検量線の係数および不確かさ評価のための装置の概略図を示す⁴⁾。炉体は温度計用の比較炉を転用したものであり、内部は密封型セシウムヒートパイプと、アルミ製の均熱ブロックとを組み合わせた炉心を、セラミックファイバーで断熱したものである。密封型セシウムヒートパイプの作動温度領域は概ね400 °Cから700 °Cの間であり、この間では非常に高い均熱性を得る事ができる。長さ約400 mmのアルミ製の金属ブロックには4本の温度計ウェル (φ7) があり、このうちの2本を使用し、一方は標準温度計として白金抵抗温度計を、他方は評価試料の加熱孔として使用した。白金抵抗温度計についてはアルミニウムの凝固点と水の三重点の2点で校正する簡易的な手法を採った。この機種の温度計で簡易校正手

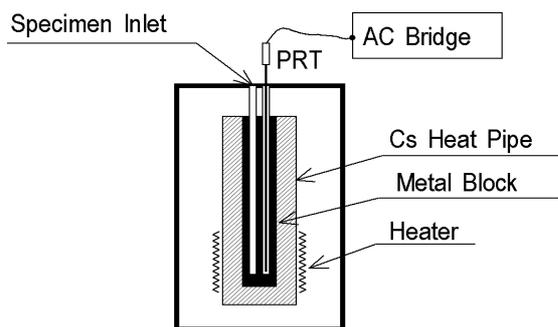


Fig. 1 検量線の評価において使用した産総研の炉の概略図⁴⁾. イオン注入したウェハをダイシングで4 mm角に切断した試料片について、1つずつ試料投入口へ投入、所定の熱処理時間経過時に石英管とともに炉体から取り出し室温まで冷却した。

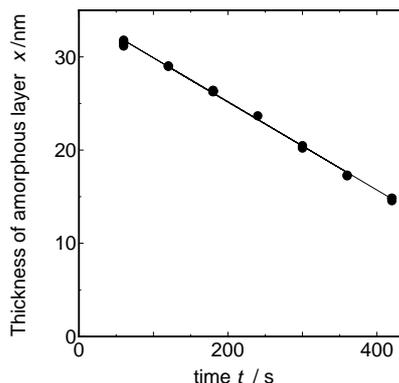


Fig. 2 一定の熱処理温度の下で、アモルファスSi膜厚の熱処理時間依存性の例. この傾きがこの温度での回復速度 R_i (測温ウェハType (II), 熱処理温度 510 °C)

法を用いた場合の温度計指示値のITS-90⁸⁾からの偏差は10 mK以内である⁹⁾. 2つのウェル間の温度差は約1 mKである。

測温ウェハの検量線評価において膜厚変化の評価を行う上で可能な限り試料の熱容量を小さくするために、4 mm角の寸法にダイシングで切断したものを試料片とした。試料片のアモルファス層回復速度の温度依存性を評価するために、電気炉の温度制御が安定した状態で加熱孔に試料片を1片ずつ投入しては、処理時間が経過した後に取り出す事を処理時間および処理温度を振りながら多数の試料片について熱処理を行い、各試料片の膜厚測定の結果から検量線の決定および評価を行った。

3.2 工程 (1) の不確かさ評価方法

3.2.1 工程 (1-1) : 各温度での回復速度 R_i とその標準不確かさ $u(R_i)$ の決定

Fig. 1の装置を用い、処理温度を一定値 T_i に保ちながら処理時間を個々に変えた場合、適切な作成条件で作成した測温ウェハについては

$$x = -R_i \cdot t + x_0 \quad (2)$$

と処理時間 t (s) と膜厚 x (nm) との関係は線形とすることができる。その傾き回復速度 R_i は一定値となる。Fig. 2に熱処理時間 t と膜厚 x との関係を測定した一例 (試料A, 熱処理温度510 °C) を示す。熱処理時間 t と膜厚 x との関係の相関係数が-0.99を超えるようなイオン注入条件および温度範囲について、測温ウェハとして使用した。

同一試料ロットの多数の試料片について異なる熱処理時間で処理し、アモルファス膜厚を計測したデータを、重み付き最小二乗法で処理して傾き R_i を決定した。また、各 $u(R_i)$ については、Table 1に示す不確かさ要因を考えた。

Table 1 各温度における回復速度 R_i の標準不確かさ $u(R_i)$ の要因リスト

番号	不確かさ要因	相対標準不確かさの例 $u(R_i)/R_i$ (例: Fig. 2のデータの場合)
最小二乗法の係数値の不確かさに含まれる不確かさ		
(i)	熱処理時間に起因する不確かさ	2.3 %
(ii)	熱処理温度の安定度に起因する不確かさ	
(iii)	熱処理の昇温・降温のプロファイル、および試料の熱容量に起因する不確かさ	
(iv)	分光エリプソメータの膜厚測定不確かさおよび膜厚測定再現性。(個々の試料片の膜厚測定値の3%と仮定)	
別途計上した不確かさ		
(v)	熱処理温度の絶対値に起因する不確かさ	0.028 %
(vi)	測温ウェハ内および測温ウェハ間の回復速度の再現性	3%と仮定
合成相対標準不確かさ		3.8 %

また、例としてFig. 2のデータから R_i を決定した際の相対不確かさを示す。

最小二乗法の係数値の不確かさに含まれる不確かさ

(i)~(iii)については、仮にこれらの要因で不確かさが生じたとしてもアモルファスの膜厚に反映されるため、別途計上する事はダブルカウントとなる。このため、回復速度 R_i を決定する際の最小二乗法の係数の不確かさに含まれると解釈した。

(iv)については、使用した堀場製作所製の分光エリプソメータの仕様にはアモルファスSi膜厚の測定不確かさについて明記されていないため、仮定値として相対不確か

さ3%を置いた。この値を採用した根拠は、

- (a) NISTの50 nm SiO₂膜のSRMについて、同機種の測定再現性の仕様は相対値で0.5%である事、
- (b) 測定器メーカーの担当者の聞き取りの結果、エリプソメータで観測される偏光変化量reflection coefficients (振幅attenuation Ψ および位相差phase shift Δ) のフィッティングについて、指標である χ^2 値で測定が妥当と判断できる場合には概ね相対値で約1%の精度がある。ただし、アモルファスシリコンを測定対象とする場合に、膜厚計算のプログラムにおいてユーザ側でそのモデリングのパラメータを行なう部分があり、その調整次第では、測定器メーカーとして値が保証できない場合もある。

の二点でアモルファスシリコンという測定対象に対して必ずしも的確な情報はない。そこで、後述の計算では安全側の仮定値として測定不確かさ3%を仮定値として置き、個々の試料片の膜厚測定値入力データにこの不確かさの値を最小二乗法の重みとして計上した。

膜厚測定の再現性については、ある特定のアモルファスSi試料について、自動ウェハ搬送装置を用いた試料のセットおよび原点復帰の繰り返しを100回行い、膜厚測定の再現性は相対値で0.1%以下である事を実測で確認した。ただ、この値は上記の膜厚測定の絶対値の不確かさの仮定値と比較して小さいため、別途計上は行わなかった。

上記の通りにFig. 2のデータから R_i を決定した場合の最小二乗法の係数の相対不確かさは2.27%であった。

別途計上した不確かさ

最小二乗法の係数の不確かさに加え、下記の2要因を加算した。

(v)については、標準として使った温度計指示値のITS-90からの偏差は10 mK以内であるから、この値を限界値として扱い、検量線の傾きから等価な回復速度を見積もった。Fig. 2のデータの処理温度510 °Cでは相対値で0.028%であった。

(vi)については、試料片の各ロットは、1枚のウェハからダイシングで切り出し多数の試料片を採取したものである。この試料母集団の熱処理測定実験により検量線を導いているため、現状得られている結果は1枚の測温ウェハ内の回復速度の再現性の評価であり、測温ウェハ間の回復速度の再現性は評価できていない。試料片と同一のイオン注入条件で製作した複数枚の測温ウェハについて、株式会社SENで熱処理前の膜厚分布を評価した結果、同じイオン注入条件で作成した場合の初期の膜厚の分布は1標準偏差で0.8%程度のばらつきの範囲に入っていた。

そこで不確かさ試算では安全を見て、検量線の決定の際の標準不確かさ $u(R_i)$ には、 R_i の値の3%を測温ウェハ内および測温ウェハ間の回復速度の再現性と仮定して計上した。

最小二乗に含まれる不確かさ要因と、別途計上した不確かさ要因とを合成し合成標準不確かさ $u(R_i)$ を求める。Fig. 2に示したデータの場合は相対値で3.76%であった。

3.2.2 工程 (1-2) : 検量線の係数 A_1 , A_2 とそれらの不確かさ $u(A_1)$, $u(A_2)$ の評価方法

前述のように処理温度 T と回復速度 R との間には(1)式の関係があり、各温度で求めた T_i , R_i の実験データの回帰からその係数を決定することができる。2つの係数の間の相関を無くすために(3)式の係数変換を行った。

$$R = A_1 \cdot \exp(-A_2 \cdot (\frac{1000}{T} - c)) \quad (3)$$

$$c = \frac{\sum_i W_i \cdot \frac{1000}{T_i}}{\sum_i W_i}$$

重み W_i については、各温度における回復速度 R_i の標準不確かさ $u(R_i)$ を使い

$$W_i = \left(\frac{R_i}{u(R_i)} \right)^2 \quad (4)$$

とした。

熱処理実験の各温度 T_i での R_i , $u(R_i)$ を用い、(3)式の係数 A_1 , A_2 , およびその不確かさ $u(A_1)$, $u(A_2)$ を重み付き最小二乗法で決定した。

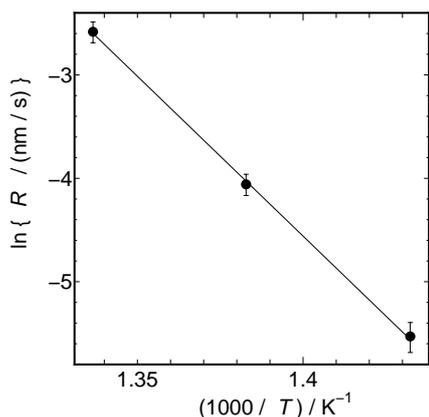
4. 検量線の評価結果

アモルファス層の回復速度は処理温度に対して指数関数的に変化するため、1種類の作成条件だけではニーズの高い400 °C~600 °Cの広い温度範囲全体を網羅することは不可能である。再現性の高い測温ウェハの作成条件を探索するため、作成条件を変えた多くの種類の測温ウェハについて上記の工程を用いて評価を行った。その結果、Table 2に示す3種の測温ウェハについては再現性が高かった。

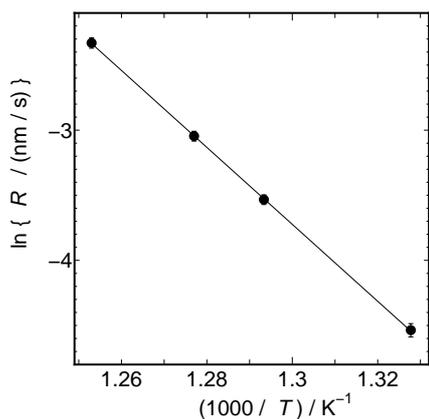
Fig. 3(a)から(c)に測温ウェハ Type (I)から Type (III)の検量線を示す。また、Table 2中に検量線の係数値とその不確かさを示した。一般的には、十分な再現性を得るのは難しいが、これらの図が示すようにイオン注入条件が好適な場合には、イオン注入によるアモルファスシリ

Table 2 回復速度の再現性の高い3種の測温ウェハの使用可能温度域と、検量線(3式)の係数値およびその不確かさ。(3)式に下記係数値を代入して得られる回復速度の単位はnm/s.

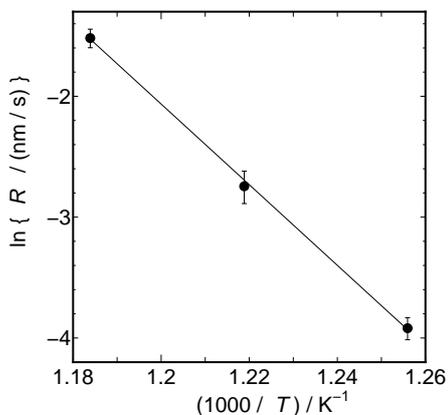
測温ウェハ	使用可能温度域	A_1	$u(A_1)$	A_2	$u(A_2)$	c
Type (I)	420 °C to 480 °C	0.013	0.0003	30.7	0.6	1.39
Type (II)	475 °C to 550 °C	0.04	0.0008	29.5	0.8	1.28
Type (III)	520 °C to 600 °C	0.078	0.004	33.4	1.7	1.21



(a) 測温ウェハ Type (I)



(b) 測温ウェハ Type (II)



(c) 測温ウェハ Type (III)

Fig. 3 回復速度の再現性の高い3種の測温ウェハの検量線. 各プロットのエラーバーは回復速度の不確かさを示す.

コンの回復速度の温度依存性は再現性が高い.

ただ, Fig. 3の各図やTable 2中の係数値だけでは, 温度計測法としての性能が判りにくい. そこで, 次章では, 得られた検量線の係数値を用いて, 温度計測の不確かさを試算した.

5. (工程2): 実際の温度計測の工程の不確かさの試算

5.1 温度値およびその不確かさの計算式

実際の半導体製造装置内の処理中のウェハ表面温度分布評価の際には, 複数枚の同一種の測温ウェハの熱処理結果から各点における実測回復速度 R_m を算出し, 準備の工程で決定した係数を代入した(3)式の逆関数に R_m を代入することで温度値が算出できる.

$$T(A_1, A_2, R_m) = \frac{1000}{c - \frac{\ln\left(\frac{R_m}{A_1}\right)}{A_2}} \quad (5)$$

温度計測の標準不確かさ $u(T)$ は, 誤差伝播則より

$$u^2(T) = \left(\frac{\partial T}{\partial A_1}\right)^2 \cdot u^2(A_1) + \left(\frac{\partial T}{\partial A_2}\right)^2 \cdot u^2(A_2) + \left(\frac{\partial T}{\partial R_m}\right)^2 \cdot u^2(R_m) \quad (6)$$

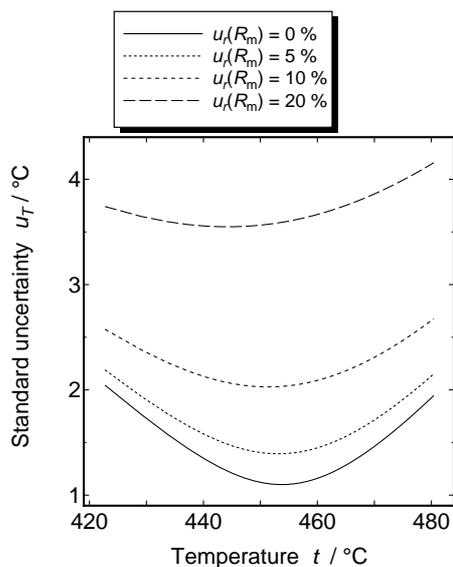
係数 A_1, A_2 および標準不確かさ $u(A_1), u(A_2)$ は前節で決定した値を使用する. 一方, 実測回復速度 R_m とその算出の不確かさ $u(R_m)$ も大きな不確かさ要因となるが, この不確かさの値は熱処理温度および熱処理時間の組み合わせに大きく依存する. このため, 実際の温度測定の際に測温ウェハの枚数を増やすか, あらかじめ測定対象の熱処理温度を想定して熱処理時間を慎重に選ぶことで R_m の算出不確かさ $u(R_m)$ を小さくする工夫をした上でその値を評価する必要がある.

この際, 仮に測定対象の半導体製造装置の昇温・降温の温度プロファイルや処理温度での制御安定度がREAL法による測定の前提条件を満たすか否かは, 異なる処理時間の膜厚測定結果から実測回復速度 R_m を決定する上での回帰の相関係数から容易に判断ができる. 仮に前提条件を満たさないような不具合がある場合には回帰の相関係数は悪い. この場合REAL法では温度の測定はできないものの, 逆にいずれかの不具合の発生の検出はできる事になる.

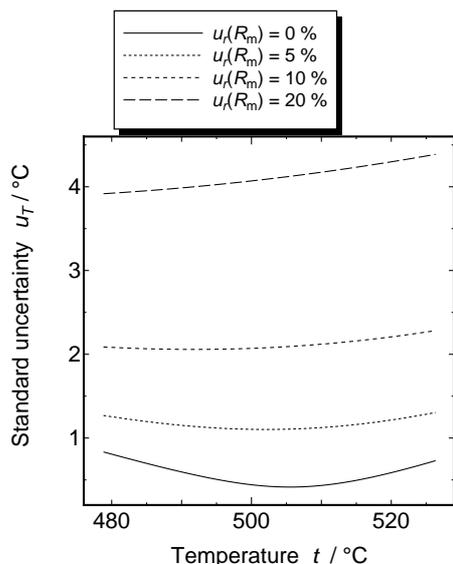
5.2 3種類の測温ウェハの温度計測不確かさの試算

Fig. 4(a)から(c)に測温ウェハType (I)からType (III)の温

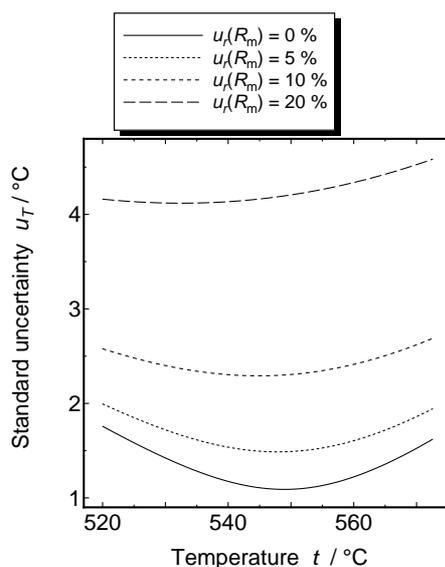
度計測の標準不確かさを示す. 本来実測回復速度 R_m 算出の不確かさ $u(R_m)$ については実測値が必要であるが, 今回の試算においては相対不確かさ $u_r(R_m) = \frac{u(R_m)}{R_m}$ を 0%, 5%, 10%, 20% とそれぞれ仮定した場合について図示を行った. Fig.4に示すように置いた仮定の下では $u_r(R_m) = \frac{u(R_m)}{R_m}$ が小さい理想的な条件のときに温度計測不確かさは数°C程度である.



(a) 測温ウェハ Type (I)



(b) 測温ウェハ Type (II)



(c) 測温ウェハ Type (III)

Fig. 4 温度計測の標準不確かさの試算. 試算の仮定: (ア) 分光エリプソメータによる膜厚測定の不確かさを3%, (イ) ウェハ内/間の回復速度の再現性を相対値で3%, (ウ) 実測回復速度の相対不確かさ $u_r(R_m) = \frac{u(R_m)}{R_m}$ を 0%, 5%, 10%, 20% とそれぞれ仮定した場合について図示を行った.

5.3 温度計測不確かさの試算に関する議論

3.2.節で議論したように, 現時点では分光エリプソメータを用いてアモルファス膜の測定不確かさなどについて確固たる評価方法が無い. また, 測温ウェハの回復速度の面内分布/ウェハ間の再現性について必ずしも十分な検証データはない. このため, Fig. 3およびFig. 4の試算では安全を見込んだ値を仮定し標準不確かさを計算したが, 仮にこれらの仮定値が変動した場合のREAL法の温度計測不確かさについて試算した結果をTable 3に示す. 各々の膜厚測定の不確かさ, 回復速度のウェハ面内分布/ウェハ間の再現性の仮定値に対し, それぞれの条件の下で得られる最良の回復速度不確かさ(括弧内に表示)と, それに対応する最良の温度計測不確かさをまとめた. それぞれの条件での最良の回復速度の不確かさの仮定値には, 各条件における回復速度不確かさの値 $u(R_i)$ を使用した.

Table 3(a)および(c)においてはウェハ内/ウェハ間の回復速度の再現性の温度計測不確かさに対する影響は小さい一方, 温度計測不確かさに対してエリプソメータの膜厚測定の不確かさの寄与がより大きい. Table 3(b)ではウェハ内/ウェハ間の回復速度の再現性の温度計測不確かさに対する影響が若干大きいようである.

Table 3 不確かさの仮定値を変化させた場合の温度計測不確かさの最良値(単位°C). 各欄の括弧内は $u_i(R_m) = \frac{u(R_m)}{R_m}$ の最良値の仮定値.

(a) 測温ウェハ Type (I)		膜厚測定の不確かさ		
		1 %	2 %	3 %
回復速度の再現性 ウェハ内/間の	0 %	0.66 (3.27 %)	1.32 (6.53 %)	1.98 (9.80 %)
	1 %	0.69 (3.42 %)	1.33 (6.61 %)	1.99 (9.85 %)
	2 %	0.77 (3.83 %)	1.38 (6.83 %)	2.02 (10.00 %)
	3 %	0.89 (4.44 %)	1.45 (7.19 %)	2.06 (10.25 %)

(b) 測温ウェハ Type (II)		膜厚測定の不確かさ		
		1 %	2 %	3 %
回復速度の再現性 ウェハ内/間の	0 %	0.18 (0.74 %)	0.35 (1.48 %)	0.53 (2.23 %)
	1 %	0.29 (1.25 %)	0.42 (1.79 %)	0.58 (2.44 %)
	2 %	0.49 (2.13 %)	0.58 (2.49 %)	0.70 (2.99 %)
	3 %	0.71 (3.09 %)	0.77 (3.35 %)	0.87 (3.74 %)

(c) 測温ウェハ Type (III)		膜厚測定の不確かさ		
		1 %	2 %	3 %
回復速度の再現性 ウェハ内/間の	0 %	0.93 (4.33 %)	1.87 (8.67 %)	2.80 (13.00 %)
	1 %	0.96 (4.45 %)	1.88 (8.72 %)	2.81 (13.04 %)
	2 %	1.05 (4.77 %)	1.93 (8.90 %)	2.84 (13.15 %)
	3 %	1.17 (5.27 %)	2.00 (9.17 %)	2.89 (13.34 %)

今後の検量線の作成作業において、エリプソメータのアモルファス膜厚の測定不確かさについて評価方法が確立される事や、ウェハ間の回復速度再現性について評価を

行い、それぞれについてより信頼できる値を定める事ができれば、Fig. 3やFig. 4に示した検量線および温度計測不確かさについて改善できる余地があると考えられる。

また、温度計測の不確かさを議論する場合に実測回復速度の不確かさ $u(R_i)$ については、本来REAL法のユーザが自身で評価しなければならない。 $u(R_i)$ に対しては、熱処理の際の温度プロファイルの再現性や最高温度で保持中の温度安定度などが要因となるが、その評価方法については個別の半導体製造装置に依存するところが大きいため、その評価方法は確立できておらず、今後さらなる議論が必要である。

6. 結論

REAL法で用いるイオン注入により生成されたアモルファスシリコン層の温度依存性について評価をした。イオン注入条件が好適な場合、イオン注入によるアモルファスシリコンの回復速度の温度依存性は再現性が高く、検量線が得られた。また、得た検量線に基づき、仮に温度計測に使用した場合の不確かさについて試算も行った。現時点では分光エリプソメータを用いてアモルファス膜の測定不確かさなどについて確固たる評価結果が無いため、安全を見込んだ値を仮定し標準不確かさを試算した。エリプソメータの測定不確かさや、回復速度のウェハ間再現性についてより信頼できる値を定める事ができれば、Fig. 3やFig. 4に示した検量線および温度計測不確かさの試算結果について改善できる余地があると考えられる。

7. 謝辞

原稿の作成にあたり産業技術総合研究所 計測標準研究部門 温度湿度科 高橋科長のご指導を頂きました。評価に使用した装置について同科高温標準研究室の小倉研究員にご協力を頂きました。不確かさ評価について産業技術総合研究所 計測標準研究部門 物性統計科 応用統計研究室の榎原室長および田中研究員の助言を頂きました。

参考文献

- 1) Y. Nambu et al., "Reordering of Implanted Amorphous Si Layers with Low Temperature RTA", Proc. IEEE Int. Conf. On Ion Implantation Technology (1999) 642-645.
- 2) H. Izutani et al., "Really Exposed Temperature Evaluation Using Reordering of Implanted Amorphous Si

- Layers”, 14th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT2002
- 3) S. Shibata et al., “Real Exposed Temperature Evaluation Using Reordering of Implanted Amorphous Si Layers”, Proc. ISSM2003 (2003)
 - 4) K. Yamazawa et al., Proc. SICE 2003 (2003) 1036-1039.
 - 5) 山澤一彰, ほかに: 計測自動制御学会第117回温度計測部会講演会資料(2005).
 - 6) “Channeling effect measurements of the recrystallization of amorphous Si layers on crystal Si”, L. Csepregi, J. W. Mayer and T. W. Sigmon, Physics Letters, Vol. 54A, No.2 (1975) 157.
 - 7) “Reordering of amorphous layers of Si implanted with ^{31}P , ^{75}As , and ^{11}B ions”, L. Csepregi, E. F. Kennedy, T.I. Gallagher, J.W. Mayer, and T.W. Sigmon, JAP, vol. 48, No. 10 (1977) 4232.
 - 8) H. Preston-Thomas, “The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)”, Metrologia 27 (1990) 3-10.
 - 9) M. Arai, “A high-temperature platinum resistance thermometer for use as practical standard”, Proc. 6th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science (1996) 135-139.