

# 水素イオン注入 Si ウェーハ表面層の PCA による評価

小林謙一<sup>1</sup>・荻田陽一郎<sup>2</sup>・近藤英之<sup>3</sup>・加藤健夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 大学院工学研究科電気工学専攻

<sup>2</sup> 電気電子工学科

<sup>3</sup> 三菱マテリアルシリコン(株)

## Surface Characterization of $H_2^+$ Implanted Silicon Wafers Using Photoconductivity Amplitude

Ken-ichi KOBAYASHI<sup>1)</sup>, Yoh-Ichiro OGITA<sup>2)</sup>, Hideyuki KONDO<sup>3)</sup>, Takeo KATO<sup>3)</sup>

### Abstract

UV/mm-wave PCD technique is examined by characterizing Si wafer subsurface damages induced by  $H_2^+$  ion implantation. PCA signals well reflects to the subsurface damage corresponding to  $H_2^+$  implanted quantity of  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  to  $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  in round of  $0.23 \mu \text{ m}$  depth. The damage in subsurface ( $0.18 \sim 0.23 \mu \text{ m}$ ) is well reflected by PCA signals. UV/mm-wave PCD technique is confirmed to reveal the subsurface damage within a quarter micron depth of Si wafers.

Keywords: Si wafer, Subsurface characterization, PCA, Hydrogen ion implantation, PCD, Millimeter-wave

### 1. まえがき

ULSI の高集積化が進むにつれて、シリコンウェーハ表面層の研磨ダメージ、重金属汚染、微小欠陥 (COP: Crystal Originated Particle) が酸化膜耐圧 (GOI: Gate Oxide Integrity) の劣化に大きく影響するという問題がある<sup>1-2)</sup>。

そこで、これを非接触で測定評価する技術が大変重要となる。表面層の非接触測定評価法のひとつとして UV/ミリ波 PCD 法による光導電減衰 (PCD: Photoconductivity Decay) 信号によりエピタキシャルシリコンウェーハのエピタキシャル層を<sup>3-5)</sup>、光導電振幅 (PCA: Photoconductivity Amplitude) 信号により、シリコンウェーハの表面/表面層が非接触、非破壊的に測定評価されてきた<sup>6-8)</sup>。

本研究では UV/ミリ波 PCD 法による PCA、PCD がサブミクロンの表面層を測定評価しているかを確認することを目的とした。その評価用試料として、浅い表面層に欠陥を生成するように、水素イオンを注入した試料を作製した。UV/ミリ波 PCD 法により水素注入量、および注入エネルギーを変えた試料の PCA を測定し、PCA が注入量依存を良く反映することから、本方法で表面層の信号として捕捉できていることを示す<sup>9)</sup>。

### 2. 測定原理

Fig. 1 (b) に示すような極端に短いパルス幅で、短波長のレーザパルス光をシリコンウェーハ表面に照射すると、極表面層にキャリアが励起され、Fig. 1 (a) に示すように、発生と再結

合にしたがって光コンダクタンスが変化し、光導電率が変化する。Fig. 1 (a) の振幅部分を PCA、減衰過程を PCD と呼ぶことにする。また、PCD 信号の初期時間領域の傾きの逆数から求まるものを初期ライフタイム  $\tau_0$  と呼ぶことにする。

一方、表面層に照射されたミリ波の反射波は、表面層のキャリア密度に比例した PCA、PCD として反映する。その反射波から表面層のキャリアの発生、再結合過程を測定できる。

### 3. 測定試料

抵抗率約  $10 \Omega \text{ cm}$ 、面方位 (100)、厚さ約  $625 \mu \text{ m}$ 、酸化膜厚約  $400 \text{ nm}$  の p 形のシリコンウェーハを A、B と 2 枚用意し、注入エネルギー  $120 \text{ keV}$  一定で、A の試料に  $1 \times 10^{15}$ 、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  で、B の試料に  $5 \times 10^{16}$ 、 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  と注入量を変化させた試料と、注入量  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  一定で、試料 A では注入エネルギーを  $90$ 、 $100 \text{ keV}$  と変化させ、試料 B では注入エネルギーを  $120 \text{ keV}$  としたものを用意した。

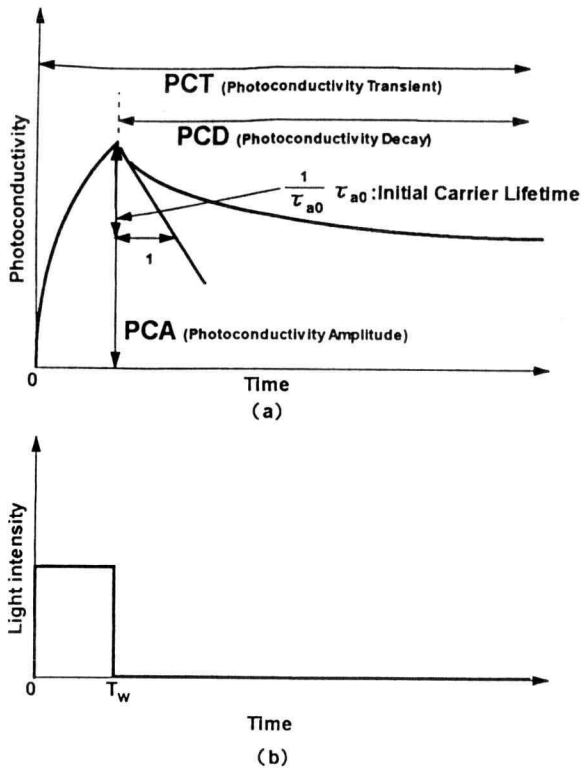


Fig. 1 Definition of PCA and initial carrier lifetime.

#### 4.測定方法

Fig.2 に UV/ミリ波 PCD 法の測定システムを示す。波長 337.1nm、浸透長 200Å、パルス幅 1ns の N<sub>2</sub> レーザを Si ウェーハ試料に照射すると、試料の極表面層にキャリアが励起され、光コンダクタンスが変化する。また、発振器から出力された 100GHz のミリ波をサーキュレータ、E-H チューナを通り、シリコンウェーハの表面に照射する。励起キャリアの光コンダクタンス変化で変調されたミリ波の反射波をダイオード検波し、超高速デジタルオシロスコープで PCA、PCD 信号として観測した。

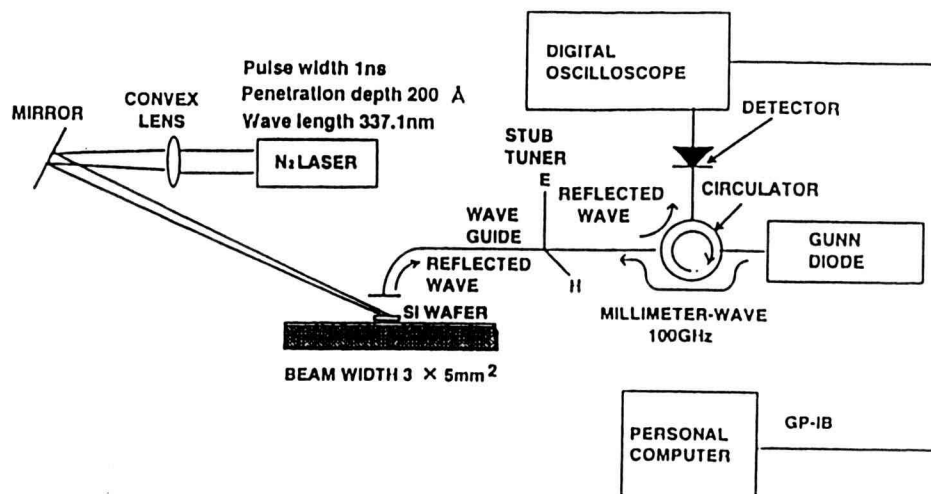


Fig. 2 Measurement System

#### 5. 測定結果と検討

##### 5.1 PCA のイオン注入量依存性

注入エネルギー 120keV 一定で水素イオン注入量を変化させた試料に対する各リファレンス毎の PCA 信号の測定結果を Fig.3(a), (b)に示す。

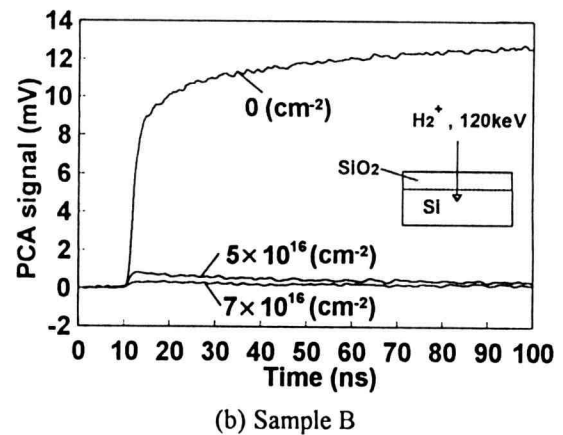
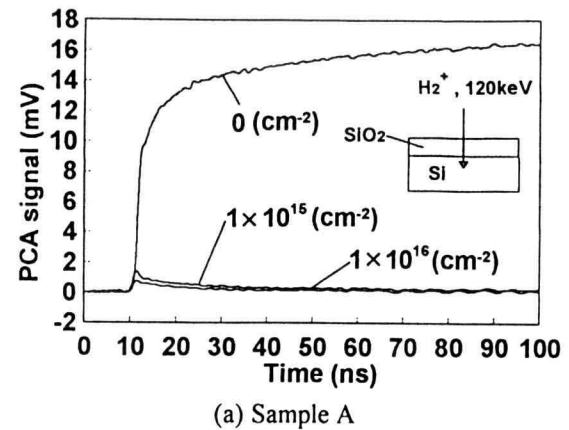
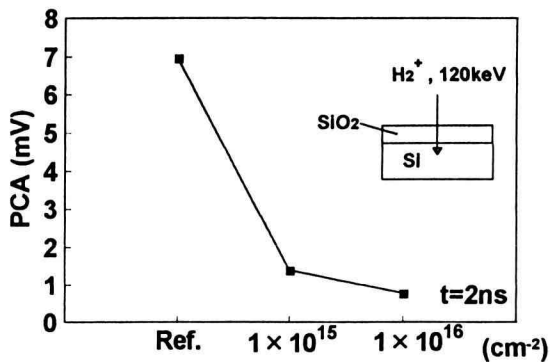
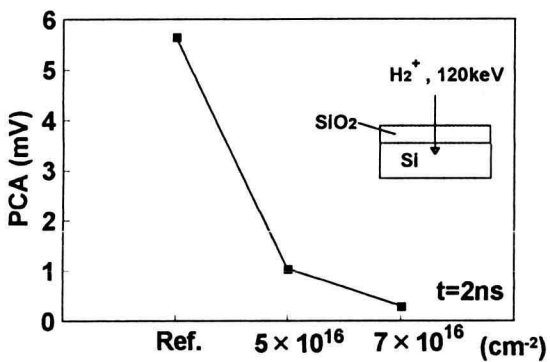


Fig. 3 Measured PCA signals for dose quantity for sample A (a) and sample B (b).

この図から注入量の増加とともに PCA 信号が減少していくことが分かる。これらの信号の立ち上がり 2ns 後の PCA を注入量に対してプロットしたのが Fig.4(a), (b)である。この図から注入量の増加により、PCA 値が減少していることが分かる。



(a) Sample A



(b) Sample B

Fig. 4 PCA vs. doze quantity.

これら試料のうちの、注入エネルギー120keV、注入量  $2.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  に対する SIMS 測定による水素原子濃度プロファイルを図5に代表例として示す。濃度のピークは 226nm の深さにある。欠陥濃度のピークも注入原子が軽いことから同じ深さにあると考えられる。

立ち上がり後 2ns でのデータをプロットしたが、その時刻でこの情報を反映しているか検討した。

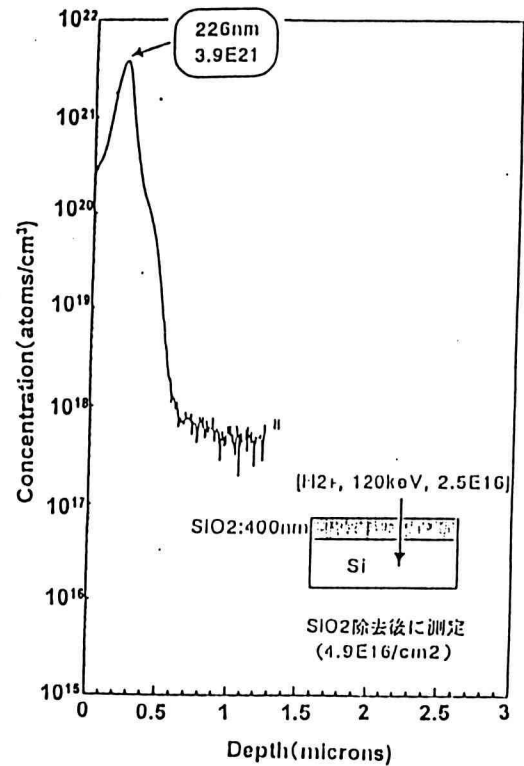


Fig. 5  $\text{H}_2^+$  ion profile measured by SIMS.

励起キャリアは時間経過  $t_i$  でどの深さ  $W$  まで進むかを理論計算した結果を図6に示す<sup>10)</sup>。この図から PCA 信号の時刻 2ns では、キャリアが到達する深さは約  $0.2 \mu\text{m}$  であり、今回の試料の欠陥のピーク  $0.226 \mu\text{m}$  に近いところにある。Fig.3 の信号において、立ち上がりから 2ns でピークを示しているのは、キャリアがその時刻に  $0.226 \mu\text{m}$  付近に到達しているためであり、そのキャリアは再結合することで急に減少し、そのため信号も減少し始めたと考えられる。したがって、本信号は表面層の性質を良く反映していると言える。

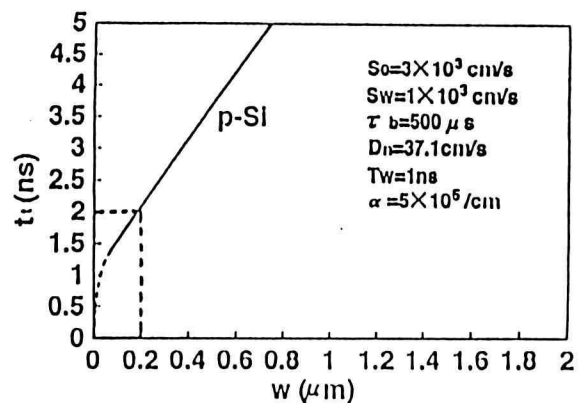
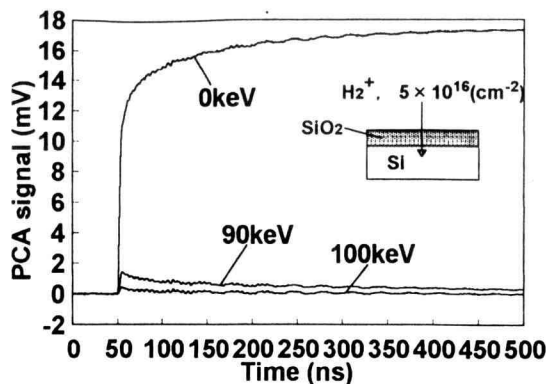


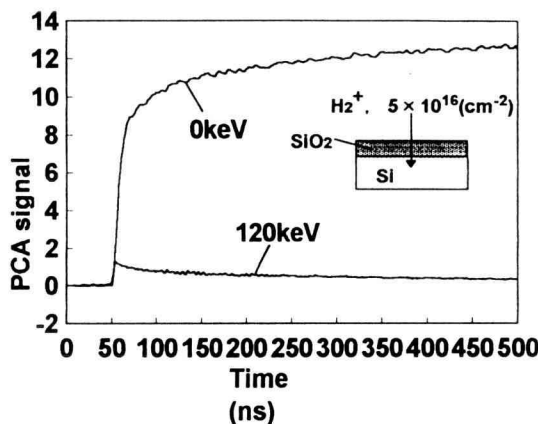
Fig. 6 Carrier transportation calculated.

## 5.2 PCA のイオン注入エネルギー依存

注入量  $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  一定で、注入エネルギーを変化させた時の PCA 波形の測定結果を Fig.7(a), (b)に示す。



(a) Sample A



(b) Sample B

Fig. 7 Measured for acceleration energy in sample A (a) and sample B (b).

Fig.7(a)の結果から 0、90、100keV とイオン注入エネルギーが増加するとともに、PCA が減少していくことが分かる。しかし、(a)と(b)を比較すると、120keV でイオン注入した試料の信号が 100keV のものより大きいことが分かる。これについて検討を行うために、見かけのキャリアライフタイムを求める。Fig. 8 から時間が経過するほど傾きが逆転していくのが分かる。

Fig. 8 の波形から広い時間に対して求めた見かけのキャリアライフタイムを注入エネルギーに対してプロットすると Fig.9 のような結果となった。ただし、Fig. 8 の座標で 50ns を 0ns と置き換えている。

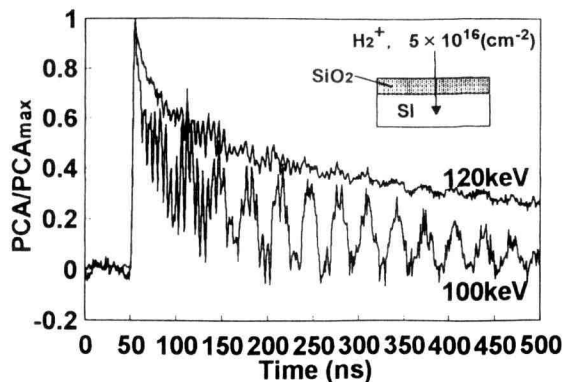


Fig. 8 Magnified PCD signals.

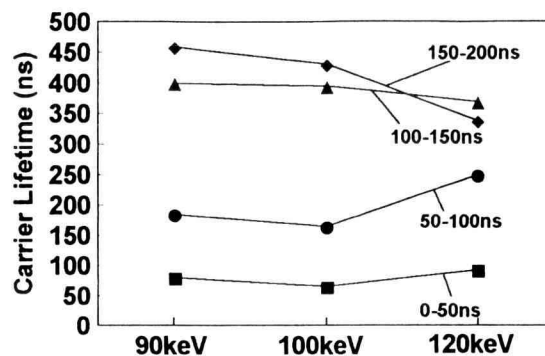


Fig. 9 Relationship between carrier lifetimes and  $\text{H}_2^+$  implantation energy.

Fig.9 から分かるように見かけのライフタイムは 0-100ns の範囲では 120keV で増加するが、100-200ns の範囲では 120keV で減少してくる。これについては Fig.10 に欠陥分布を推定してモデル的に示す。Fig.9 のように短い時間領域ではキャリアが十分深いところに拡散しないために、エネルギーの高い場合の欠陥領域まで到達していないと考えられ、PCA で測定している位置は Fig.10 における斜線の部分なのではないかと考えられる。

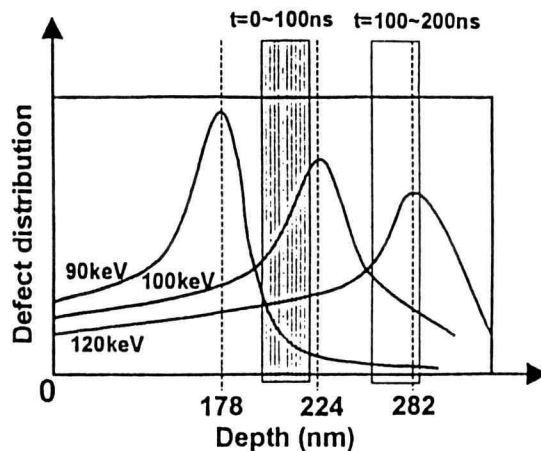


Fig. 10 Model for explaining between PCA signal and implantation energy.

## 6. あとがき

本研究での結果をまとめると以下ようになる。

- (1) PCA 信号の値は  $0.23 \mu\text{m}$  のダメージ深さでの水素イオン注入量の増加 ( $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2} \sim 7 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ ) とともに減少することが分かった。
- (2) PCA 信号の値は水素イオン注入エネルギーの増加 ( $90 \sim 120 \text{keV}$ : ダメージ深さ  $0.18 \sim 0.23 \mu\text{m}$ ) とともに減少することが分かった。
- (3) UV/ミリ波 PCD 法の PCA を用いてサブミクロンの表面層の欠陥の情報を良く検出できることが確認できた。

## 参考文献

- 1) Y. Udo, M. Nagura, S. Samata, and H. Kubota, The Physics and Chemistry of  $\text{SiO}_2$  and the Si-Si  $\text{O}_2$  Interface-3, H. Z. Massoud, E. H. Poindexter, and C. R. Helms, **96-1**, pp. 379-387, the Electrochemical Society, Inc., Pennington, NJ, (1996)
- 2) Y. Ogita, Y. Hosoda, M. Miyazaki, Science and Technology of Semiconductor Surface Preparation, G. S. Higashi, M. Hirose, S. Raghavan, and S. Verhaverbeke, **477**, pp. 209-214, Materials Research Society, Warrendale PA (1997)
- 3) Y. Ogita, Non-contact Observations of Photoconductivity Decay and Carrier Lifetime Measurements in Epitaxial Silicon Wafers, Semiconductor and Science Technology, Institute of Physics, Vol. 7, pp. 175~179 (1992)
- 4) Y. Ogita, Non-contact Carrier Lifetime Measurement of Epitaxial Si Wafers by Using Photoconductivity Decay, The Electrochemical Society, Vol. **91-1**, p. 692 (1991)
- 5) M. Aoki, T. Itakura and N. Sakai, Mo Contamination in  $p/p^+$  Epitaxial Silicon Wafers, Japan. J. Appl. Phys., Vol. **34**, pp. 712~714 (1995)
- 6) Y. Ogita, K. Yakushiji, N. Tate, Semiconductor Silicon/1994, The Electrochemical Society, **94**, pp. 1083-1092 (1994)
- 7) Y. Ogita, M. Nakano, H. Masumura, MRS, **378**, pp. 591-596 (1995)
- 8) Y. Ogita, M. Nakano, H. Masumura, Defects in Semiconductors **18**, **196-201** pp. 1813-1816 (1995)
- 9) 小林、篠原、港、荻田、加藤、近藤、第 45 回春季応物予稿集, **29a-H-6**, p. 795 (1998)
- 10) 川崎、神奈川工科大学卒業論文 (1996)