

# UV/ミリ波光導電法によるシリコンウェーハ 研磨時表面/表面層の評価

篠原 洋<sup>1</sup>・荻田 陽一郎<sup>2</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

## Surface/Subsurface Characterization of Polishing Silicon Wafers with UV/Millimeter-wave Photoconductivity Technique

Hiroshi SHINOHARA<sup>1)</sup>, Yoh-Ichiro OGITA<sup>2)</sup>

### Abstract

The photoconductivity amplitude (PCA) signals and initial carrier lifetimes are measured for characterizing subsurface damages in Si wafers with various polishing surface, using UV/millimeter-wave technique. The correlation between the initial region carrier lifetimes, surface micro roughness  $R_{rms}$ , heavy metals contamination, PCA signals, and pulse photoconductivity amplitude (PPCA), leads that the initial carrier lifetime characterizes well subsurface damages introduced by mirror polishing.

**Keywords :** Photoconductivity amplitude, Carrier lifetime, Subsurface damage, Surface microroughness  
UV, Millimeter wave, Photoconductivity decay, Silicon wafer

### 1. まえがき

LSIの微細化が進むにつれてシリコンウェーハ表面層の結晶欠陥、重金属汚染、結晶歪みを評価することが強く要求されている。特にミラー研磨にともなう表面層ダメージが非常に問題となっている。しかし、その表面層ダメージの評価は極めて困難な状況にある。

本研究室では、UV/mm波法を用いた光導電振幅 (PCA:Photoconductivity amplitude)信号、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や表面層ダメージをもつシリコンウェーハを非接触評価できることを示してきた<sup>1~4)</sup>。その方法で、表面マイクロラフネスが0.2~0.065nmという小さい領域ではGOIとPCA信号に1対1の相関があることを示してきた<sup>4)</sup>。このように表面マイクロラフネス $R_{rms}$ が極端に小さい場合には、PCA信号は表面層ダメージに依存しているという結果を導いてきた。

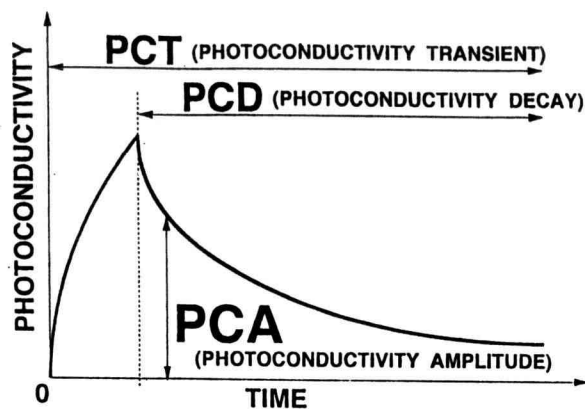
ここでは表面マイクロラフネス $R_{rms}$ が大きい(0.8~2.6nm)ときに、PCD信号から求まる初期キャリアライフタイム $\tau_{a0}$ 、そしてPCA

信号がどのように変わるか測定が試みられる。

$\tau_{a0}$ のマイクロラフネス依存性と別の測定法である青色レーザ/マイクロ波法で測定されるパルス光導電振幅(PPCA)<sup>5)</sup>、表面マイクロラフネス、重金属汚染量との関係が比較検討される。その結果PCA信号は表面マイクロラフネスと表面重金属汚染、表面層ダメージに依存し、初期キャリアライフタイムは鏡面研磨時の表面層ダメージに主に依存するという結果が導かれる。

### 2. 測定原理

Fig. 1 (b) に示すようなパルス光をシリコンウェーハ表面に照射すると、キャリアが励起されFig. 1 (a) に示すように光コンダクタンスが変化しPCT波形が得られる。Fig. 1 (a) の振幅部分をPCA、減衰過程をPCDと呼ぶ。次にPCAが表面、表面層の性質にいかに関与するか、理論計算的に示す。計算モデルをFig. 2に示す。表面再結合速度 $S_0$ で表面の性質、表面層ライフタイム $\tau_{b1}$ で表面層の性質を表して



(a)

(b)

Fig. 1 Definition of PCA

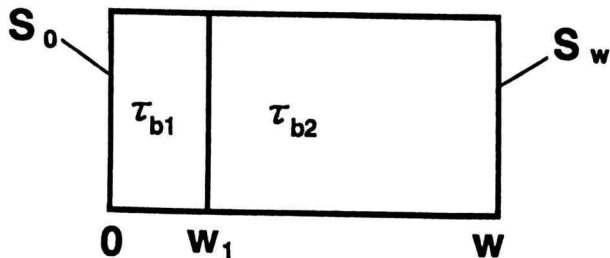
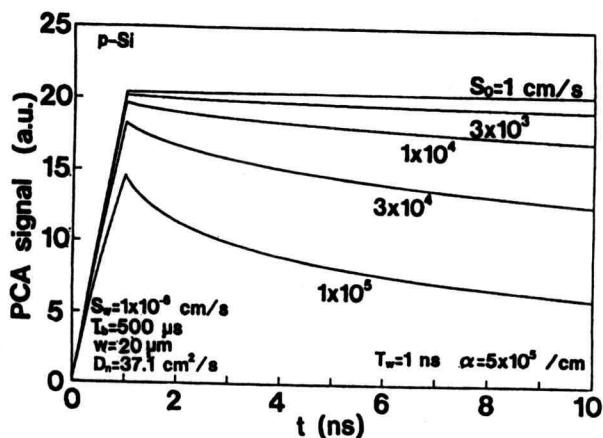
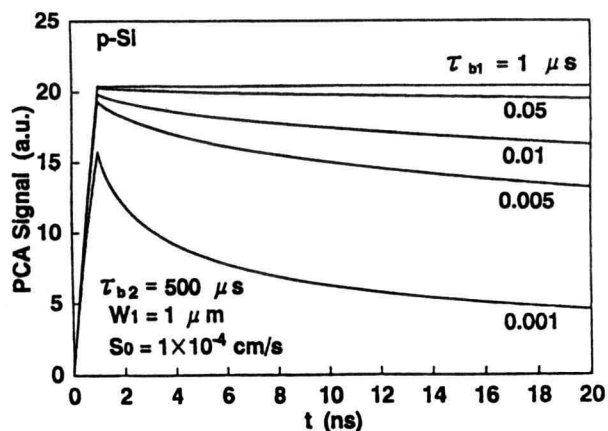


Fig. 2 Calculation model for Si wafer

Fig. 3 PCA signals depended on  $S_0$ Fig. 4 PCA signals depended on  $\tau_{b1}$ 

いる。 $S_w$ は裏面再結合速度、 $\tau_{b2}$ はバルクライフタイム、 $W_1$ は表面層の厚み、 $W$ はウェーハの厚みである。少数キャリア連続の式を境界条件、初期条件のもとに数値解析的に解いた結果を Fig. 3、Fig. 4 に示す<sup>1)</sup>。ここで後の実験に合うように、吸収係数  $\alpha$  は  $5 \times 10^5 / \text{cm}$  (浸透長  $200 \text{ \AA}$ )、パルス幅  $1 \text{ ns}$  とした。Fig. 3 は  $\tau_{b1} = \tau_{b2} = 500 \mu\text{s}$  の条件で、 $S_0$  を変化させた時の PCA 信号を示したものである。この図から  $S_0$  が増加すれば PCA 信号は減少することがわかる。すなわち PCA 信号は表面に依存するといえる。Fig. 4 は  $\tau_{b1}$  を変化させたときの PCA 信号を示す。 $\tau_{b1}$  が減少すれば PCA 信号も減少することが分かる。したがって、PCA 信号が表面層ライフタイムに依存することが分かる。これらの結果から PCA 信号は表面と表面層に強く反映する。もし表面の状態 (例えば表面マイクロラフネス) が同じものであれば PCA 信号は表面層だけに依存するといえる。初期ライフタイムは PCD の初期時間領域の傾きの逆数である。Fig. 3, 4 に見るようにその傾きが  $S_0$ ,  $\tau_{b1}$  に依存して変わり、初期ライフタイムに依存して変わることが分かる。

### 3. 測定試料および作製

測定試料として、抵抗率  $38.7 \Omega \text{ cm}$ 、面方位 (100)、厚さ  $450 \mu\text{m}$  の P 形シリコンウェーハを用いた。

シリコンウェーハの表面マイクロラフネスに対する PCA、PCD の変化を測定するために、研磨時間を変えてミラー研磨した。

$250 \text{ \AA}$  スラリーで 20 秒間ずつ 80 秒まで、 $260 \text{ g/cm}$  の圧力のもとで研磨した 4 枚の試料と、研磨前の試料の計 5 枚を準備した。研磨後アセトンで 5 分間、純水で 5 分間、超音波洗浄した。同じ条件にするため研磨なしの試料も同様なプロセスで洗浄した。

### 4. 測定方法

#### 4.1 UV/mm 波法による PCA/PCD の測定

Fig. 5 に UV/mm 波法の PCA/PCD 信号測定シ

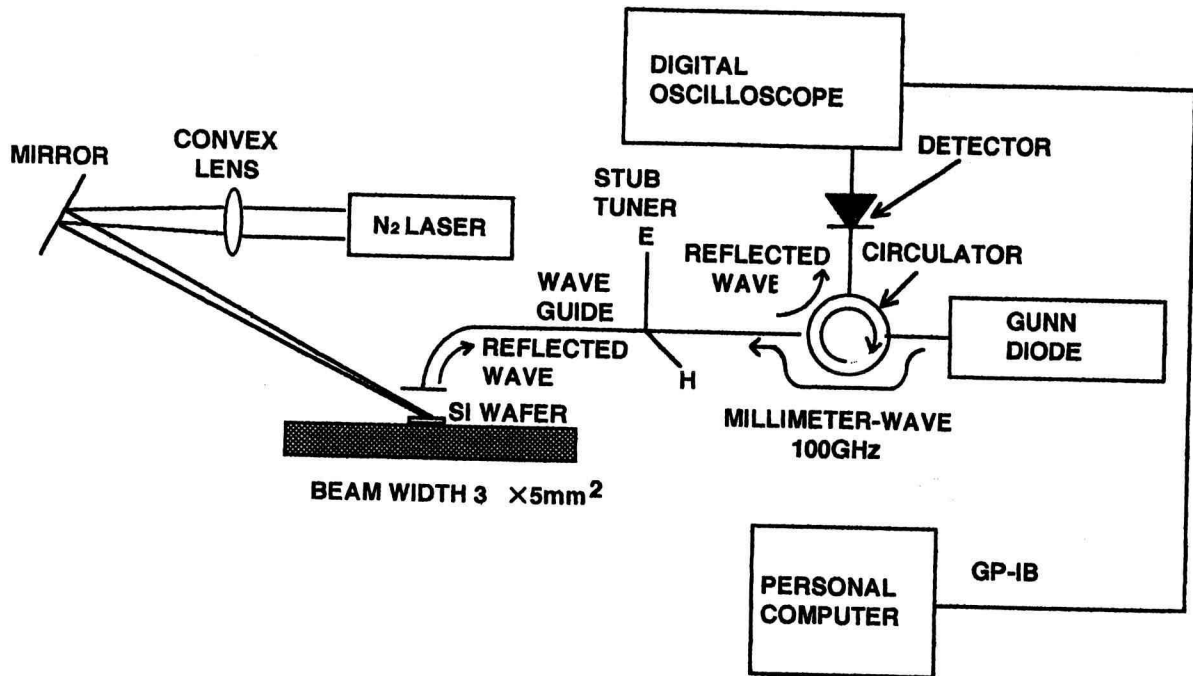


Fig. 5 Measurement system

システム図を示す。波長 337.1nm の窒素レーザを試料に照射した。それにより表面層に励起されたキャリアにともない、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ミリ波 (100GHz) がサーキュレータ、E-H チューナを通りシリコンウェーハの表面に照射されている。そ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 信号を観測した。

#### 4. 2 AFM (原子間力顕微鏡) による測定

AFM により、試料の中心とその左右 1mm の 3 点について、面積  $1 \times 1 \mu\text{m}^2$  における AFM 像を測定した。その結果から表面マイクロラフネスを求め、3 点の平均の表面マイクロラフネスをそのサンプルの  $R_{\text{rms}}$  とした。

### 5. 測定結果と考察

#### 5. 1 A F M による測定結果

Fig. 6 に研磨時間と表面マイクロラフネス  $R_{\text{rms}}$  の関係を示す。研磨前の  $R_{\text{rms}}$  に比べて、20 秒間の研磨で  $R_{\text{rms}}$  が極端に小さくなっていることが分かる。その後の研磨では  $R_{\text{rms}}$  はそれ以上小さくならず、ほぼ一定となっていることが分かる。

#### 5. 2 TXRF による測定結果

全反射蛍光 X 線分析 (TXRF: Total Reflection X-Ray Fluorescence) により測定した表面の重金属汚染量を研磨時間に対して示した図を Fig. 7 に示す。20s ですべての元素において汚染量が減少している。20s 以降は汚染量が増加

する傾向がある。このことから研磨により表面が徐々に汚染されていることがわかる。

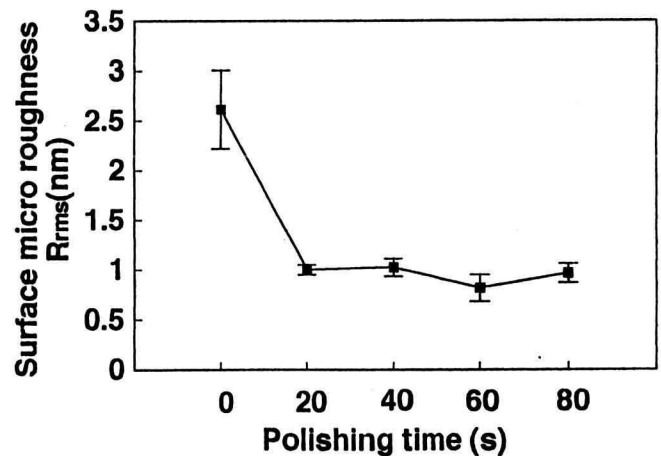


Fig. 6 Surface microroughness as increase polishing time

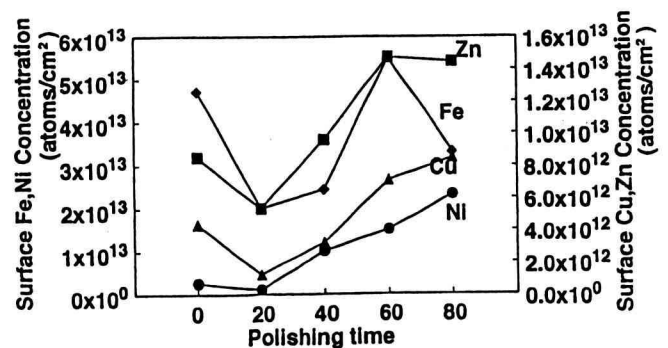


Fig. 7 Heavy metals contamination v.s. polishing time

### 5.3 PCA/PCD 信号の測定結果

測定した PCA 信号のうち、代表例として研磨なし (0s) の測定結果を Fig. 8 に示す。またその信号で観測時間を長くとした測定結果を Fig. 9 に示す。ここでは、PCA 値は Fig. 8 の PCA 信号のピーク値 (立ち上がり後 2.8ns) とし、初期ライフタイム  $\tau_{a0}$  は Fig. 9 のピークから  $2\mu s$  までの最小二乗近似直線の傾きの逆数から求めた。

研磨時間を増加させた時の PCA 信号と  $R_{rms}$  の関係を Fig. 10 に示す。40s, 60s, 80s, の研磨では PCA 信号は減少している。これは表面マイクロラフネスがほぼ同じなので、Fig. 7 に示すように重金属汚染量の増加を反映していると考えられる。表面層の情報を反映すると考えられる初期ライフタイムの測定結果を Fig. 11 に示す。別な測定法である青色レーザ/マイクロ波法で測定したパルス光導電振幅信号の結果を Fig. 12 に示す。PPCA 信号の測定での励起光の浸透長が  $0.77\mu s$  であり、本研究の窒素レーザの  $200\text{\AA}$  のそれと比較して長い。したがって、表面層の情報を反映すると考えられる<sup>5)</sup>。Fig. 11、Fig. 12 の両者は良く一致したカーブを示すことが分かる。

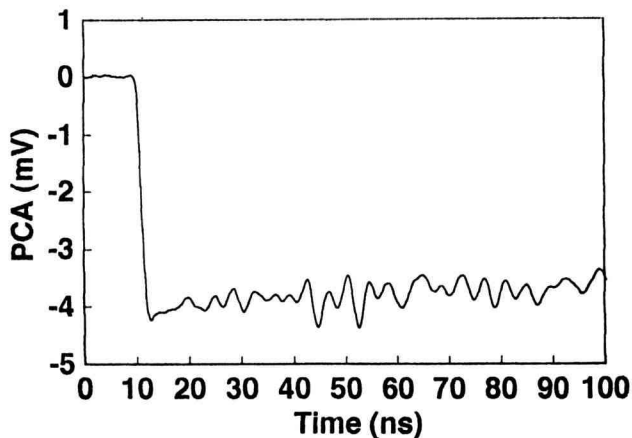


Fig. 8 One example of measured PCA signals sample before polishing

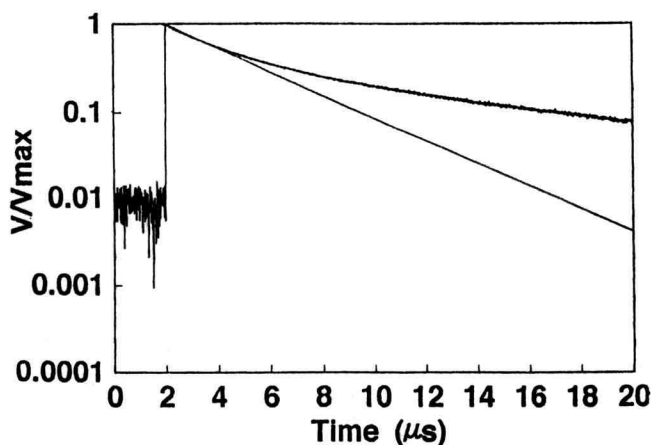


Fig. 9 One example of measured PCD signal sample before polishing

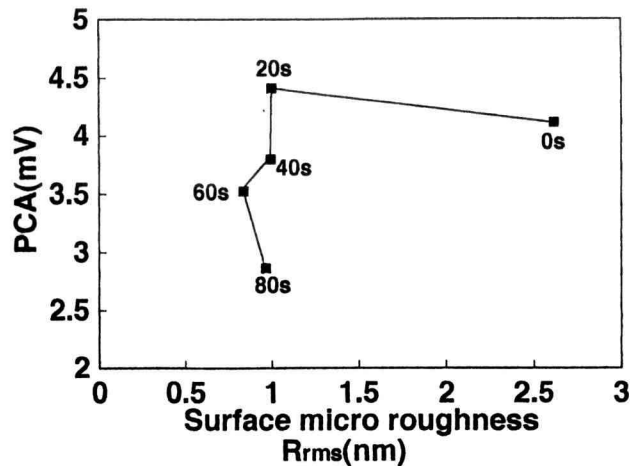


Fig. 10 Relationship between PCA signals and surface microroughness

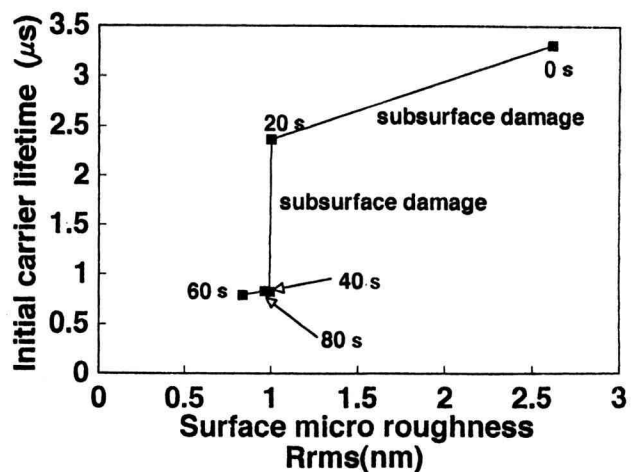


Fig. 11 Relationship between initial carrier life time and surface microroughness

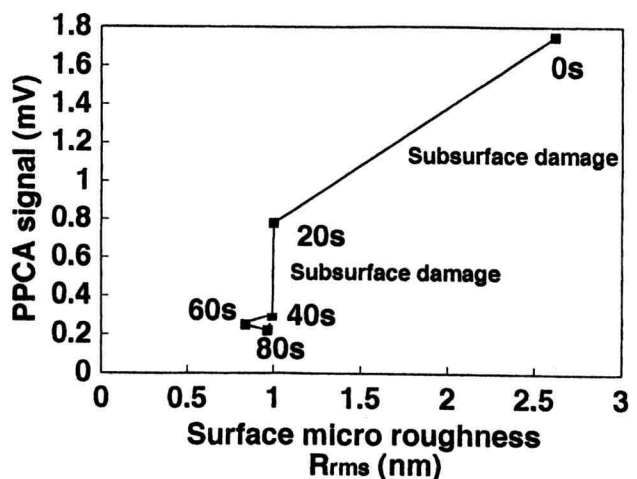


Fig. 12 Relationship between PPCA signal and surface microroughness

したがって初期ライフタイムは表面層の特性を反映しているといえる。

Fig. 11 の初期ライフタイムと Fig. 12 のPPCA と Fig. 7 の重金属汚染量の結果を合わせて検討すると次のように説明できる。Fig. 11 の初期ライフタイムの振る舞いは、0~20s の研磨では表面層ダメージにより初期ライフタイムが減少し、20~40s ではさらに表面層ダメージが生じて減少し、その後はダメージが残存していると説明できる。

Fig. 10 のPCA で、0~20s のPCA 値のわずかの増加は次のように説明できる。表面マイクロラフネスと重金属汚染量の減少でPCA 信号は増加するはずだが、表面層ダメージが生じたので、その効果だけ下がり結果的にわずかの増加となった。20~40s では、重金属汚染量と表面層ダメージの両方が増加しているためPCA 値が減少すると考えられるが、Fig. 11 の初期ライフタイムやFig. 12 のPPCA 信号ほど減少していない。これはPCA 値は重金属汚染が存在する表面の影響を強く受けたと説明できる。

## 6. あとがき

シリコンウェーハの研磨条件を変えてUV/mm 波法によるPCA と初期ライフタイムを測定した。初期のPCD から求められる初期ライフタイムは青色レーザ/マイクロ波法によるPPCA のラフネス依存性と良く一致した。これから、初期ライフタイムは研磨ダメージを良く反映していることが分かった。さらに、PCA は  $R_{rms}$  が 0.8~2.6ns と大きい領域では、表面層ダメージだけでなく表面マイクロラフネス、表面の重金属汚染量を反映していることが分かった。

## 謝辞

重金属汚染をTXRFで測定頂いた、三菱マテリアルシリコン株式会社の近藤 英之氏に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Y. Ogita, M. Nakano, H. Masumura, MRS, **378** pp. 591-596 (1995)
- 2) Y. Ogita, K. Yakusiji, N. Tate, Semiconductor Silicon/1994, The Electrochemical Society, **94**, pp. 1083-1092 (1994)
- 3) Y. Ogita, K. Yakusiji, N. Tate, Institute of Physics, **135**, pp. 39-42 (1994)
- 4) Y. Ogita, Y. Hosoda, M. Miyazaki, Proceeding of Science and Technology of Semiconductor Surface Preparation, ed. by G. S. Higashi, M. Hirose, S. Raghavan, Verhaverbeke, MRS, to be published (1997)

- 5) 澤登 剛、荻田 陽一郎、青色レーザ/マイクロ波光導電変化を用いたシリコンウェーハ表面層の評価、神奈川工科大学研究報告、**B-22**、(1998)