

# 青色レーザ/マイクロ波光導電を用いたシリコン ウェーハ表面層の評価

澤登剛<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

## Subsurface Characterization of Silicon Wafers with Blue Laser / Microwave Photoconductivity Transient

Takeshi SAWANOBORI<sup>1)</sup>, Yoh-Ichiro OGITA<sup>2)</sup>

### Abstract

The pulse photoconductivity amplitude (PPCA) technique with blue laser carrier excitation is proposed for characterizing subsurface property in Si wafers. The PPCA signals is concluded to make possible to characterize subsurface damages introduced by mirror polishing, from the discussion of the correlation between micro roughness dependence of PPCA, initial carrier lifetime, and heavy metals contamination.

Keywords: PPCA signal, Subsurface property, Subsurface damage, Photoconductivity, Mirror polishing, Si wafer

### 1. まえがき

シリコンデバイスの微細化・高集積化にともないシリコンウェーハ表面層のわずかな結晶欠陥・重金属汚染・結晶歪みが製品の歩留まりに強く影響してくることが知られている。そこで、シリコンウェーハ表面層の結晶性を正確に測定評価することが非常に重要になってきている。表面層を評価するので、非接触・非破壊測定評価が強く要求される。さらに、将来の単価の高い直径 300mm 以上のウェーハの表面層の評価では、現在以上に非接触・非破壊測定評価法が必要不可欠となる。

従来、表面層の測定評価法として我が研究室では、UV/mm 波を用いた光導電振幅 (PCA: Photoconductivity amplitude) 法と光導電減衰 (PCD: Photoconductivity decay) 法を提案し、それら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、通常のシリコンウェーハの表面、表面層を非接触測定評価してきた<sup>1~4)</sup>。しかし、これらの方法は長いライフタイムをもつ 2 つのウェーハ間の評価には、必ずしも高い測定感度が得られない。その原因の 1 つは、光キャリア励起時間が短いからである。

そこで、励起光として光キャリア励起時間を定常状態に達するまでに長くし、かつ表面層に光キャリアを励起するような短波長をもった青色レーザを用い、マイクロ波でパルス光導電振幅 (PPCA: Pulse

photoconductivity amplitude) を検出する新しい測定評価法 (青色レーザ/マイクロ波光導電法) を提案する。

シリコンウェーハの最終ミラー研磨プロセスにおいて、冒頭で述べたような、ミラー研磨時に導入される表面層のダメージが問題になっている<sup>2~4)</sup>。そこで、本提案の方法を用いて、ミラー研磨時間を変えたときに生じる表面層ダメージの測定を試みた。本方法による PPCA 信号は、ダメージに依存するばかりでなく、表面ラフネスや表面の重金属にも依存する可能性もある。そこで、表面マイクロラフネス  $R_{rms}$  と表面の重金属の定量的測定を行った。まず、別な測定法の UV/mm 波を用いた PCD 法による初期キャリアライフタイムの測定結果<sup>5)</sup>と本 PPCA 測定結果とを比較し、両者はよく一致したことを示す。このことから、本測定法で表面層を評価できることを示す。本方法の PPCA 信号と  $R_{rms}$ 、PCA<sup>5)</sup>、重金属汚染量の測定結果を合わせて検討し、本方法で表面層ダメージが評価できることを確認する。

### 2. 測定原理及び測定方法

#### 2.1 測定原理

Fig. 1 (b) のような励起パルス光をシリコンウェーハに照射すると、光導電率は (a) のように変化し、パルス幅が長ければ定常状態時の振幅値になる。その時の

に照射すると、光導電率は (a) のように変化し、パルス幅が長ければ定常状態時の振幅値になる。その時の振幅をパルス光導電振幅 (PPCA) と呼ぶことにする。その PPCA は、 $\rho \tau_a$  ( $\rho$ : ウェーハの抵抗率、 $\tau_a$ : 見かけのキャリアライフタイム) に比例することが知られている<sup>6)</sup>。定常状態は、PPCA 信号が一番長いライフタイムに定常化した状態であることを意味している。したがって、長いライフタイムをもつウェーハ間の差は、定常状態での振幅、つまり PPCA に反映されることになる。

次に、本目的は表面層を評価することにある。Fig. 1 (b) の励起パルス光として、波長の短い青色レーザで、表面層にキャリアを励起する。その光導電率をマイクロ波で検出することにより、表面層のキャリアライフタイムを反映した情報を観測できる。しかも、定常状態で観測するので長いライフタイムも反映した情報を観測できる。

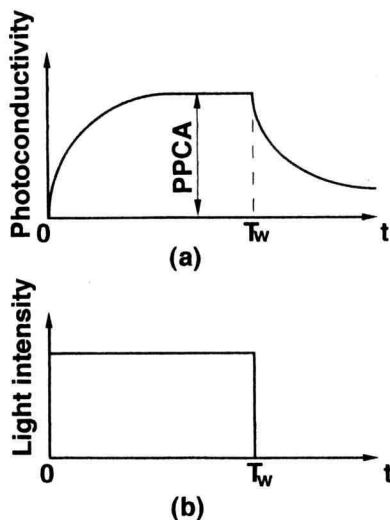


Fig. 1 PPCA signal and photoexcitation.

## 2.2 測定方法

Fig. 2 に実験に用いた測定系を示す。励起光として、波長 488nm の Ar レーザを用いた。その浸透長は  $0.77 \mu\text{m}$ 、スポットサイズは約  $2\text{mm} \phi$ 、出力は約 150mW であった。

長い励起光パルス幅を得るために、くり返し周波数が 50Hz のメカニカルチョッパを用いて、パルス幅 10ms の光パルスを作製した。そのパルス光をシリコンウェーハサンプルに照射した。その光導電率変化の PPCA 信号を 10GHz マイクロ波反射プローブで検出した。その反射波を 20 倍に増幅し、デジタルオシロスコープで PPCA 信号として観測した。

## 3. 測定試料の作製および測定

### 3.1 測定試料の作製

抵抗率  $38.7 \Omega\text{cm}$ 、(100) 面、厚さ  $450 \mu\text{m}$ 、p 形の

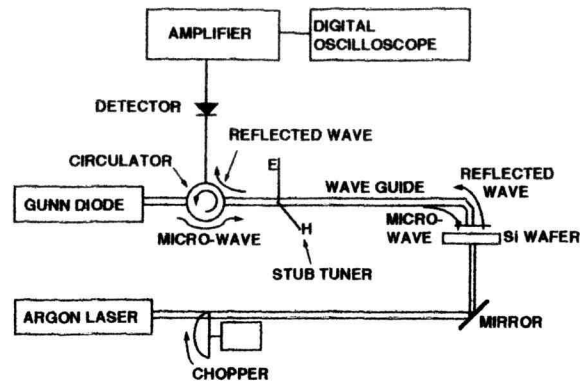


Fig. 2 Measurement System.

Table 1 Measurement samples.

研磨 時間 (sec)	圧力 ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	試料名
0	—	A
20	260	B
40	260	C
60	260	D
80	260	E

CZ シリコンウェーハを、 $2 \times 1 \text{cm}^2$  の形状にスクライブしたものを試料として用いた。研磨回数により、表面マイクロラフネスや表面層ダメージが変わることが期待できる<sup>4)</sup>。そこで、Table 1 のように、研磨圧力是一定で非常に小さいスラリー径  $250 \text{\AA}$  を用いて、Table 1 のように研磨時間を変えて研磨した試料を作製した。研磨後、アセトン、超純水でそれぞれ 5 分間超音波洗浄した。ここで、試料 A は原ウェーハである。原ウェーハも同様なプロセスで洗浄した。

### 3.2 測定

Table 1 の試料について、青色レーザ/マイクロ波法を用いて PPCA 信号を測定した。さらに、それら試料を UV/mm 波法で、PCA、PCD 信号を測定した<sup>5)</sup>。表面マイクロラフネス  $R_{\text{rms}}$  を原子間力顕微鏡 (AFM: Atomic force microscope) で、表面の重金重属汚染量を全反射蛍光 X 線分析 (TXRF: Total reflection X-ray fluorescence) 法で測定した。

## 4. 実験結果と検討

AFM の測定結果のうち代表例として、研磨時間 0 秒、

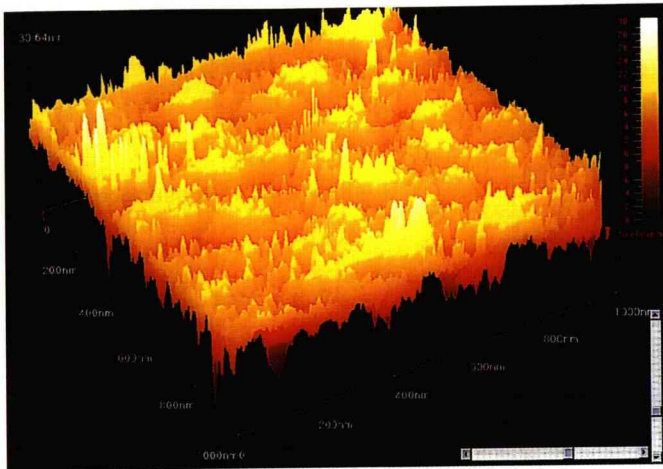


Fig. 3 One example of AFM images measured for Si wafer surface before polishing. (Vertical: full scale 30nm.)

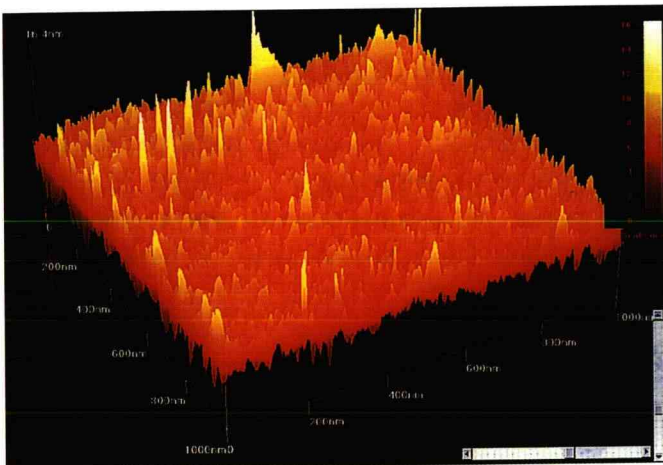


Fig. 4 One example of AFM images measured for Si wafer surface polished for 20sec. (Vertical: full scale 16nm.)

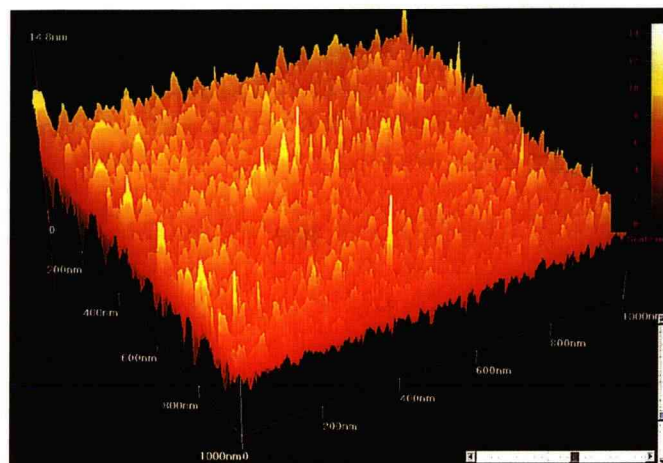


Fig. 5 One example of AFM images measured for Si wafer surface polished for 40sec. (Vertical: full scale 14nm.)

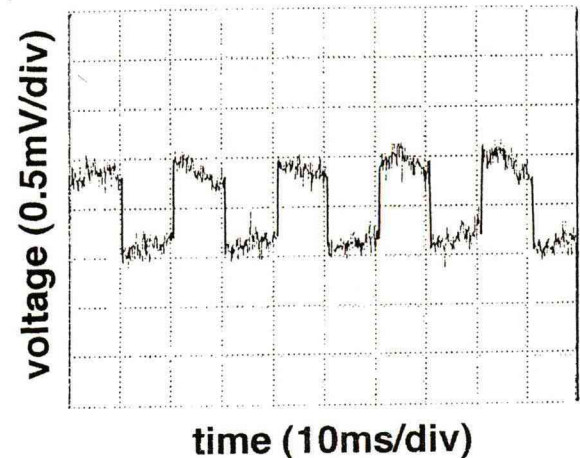


Fig. 6 One example of PPCA signals measured for Si wafer polished for 20sec.

20 秒、40 秒に対して、それぞれ Fig. 3、4、5 に示す。Fig. 3 と Fig. 4 を比較すると、20 秒間研磨したことで表面の粗さがとれたことが分かる。Fig. 4 と Fig. 5 を比較すると、あまり変化が見られないことが分かる。Fig. 6 に、測定した PPCA 信号のうち、代表例として研磨時間が 20 秒について示す。

測定された PPCA と 5 枚の試料に対して  $R_{rms}$  の関係 (PPCA- $R_{rms}$ ) を Fig. 7 に示す。一方、UV/mm 波法で測定した PCD ( $t=0$  から  $2 \mu s$  まで) から求めた初期キャリアライフタイム  $\tau_{a0}$  と  $R_{rms}$  の関係 ( $\tau_{a0}$ - $R_{rms}$ ) を Fig. 8 に示す<sup>5)</sup>。両図は、良く一致したカーブであることが分かる。初期ライフタイムは初期拡散時間、つまり表面層のキャリアの再結合を反映していると考えられる<sup>5)</sup>。それと、PPCA が一致しているのであるから、PPCA は表面層の情報を反映していると言える。

研磨によって、試料が重金属汚染される懸念がある。そこでその汚染度合を TXRF で測定した。TXRF によって測定された表面の重金属汚染量と研磨時間の関係を Fig. 9 に示す。Fig. 7 より、 $R_{rms}$  が 20 秒研磨後 2.61nm から 1.00nm に顕著に減少している。一方、Fig. 9 より表面の重金属汚染量は、20 秒後各元素とも減少している。ラフネスと重金属汚染量が減少し、もし、PPCA がそれらに依存するならば、PPCA は増加するはずである。しかし、PPCA は Fig. 7 に見るように顕著に減少している。これは、20 秒間の研磨により表面層にダメージが生じたためだと考えられる。さらに、40 秒間研磨後の試料では、Fig. 7 に見るように PPCA は 20 秒の時よりもさらに減少している。表面ラフネスは変化していないので、重金属汚染か表面層ダメージによると考えられる。Fig. 9 より、表面の重金属汚染量は少し増加している。別な測定法 (UV/mm 波法) により、表面の情報を反映する PCA の同一試料に対する測定結果<sup>5)</sup>と本 PPCA の結果との比較検討から、40 秒研磨後の PPCA の減少は主に表面層

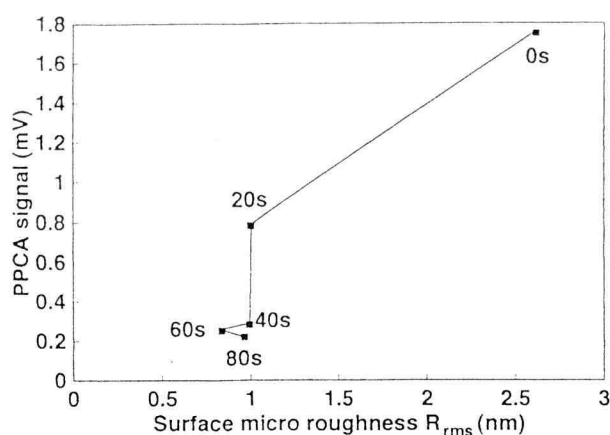


Fig. 7 PPCA signals measured as a function of surface micro roughness  $R_{rms}$ .

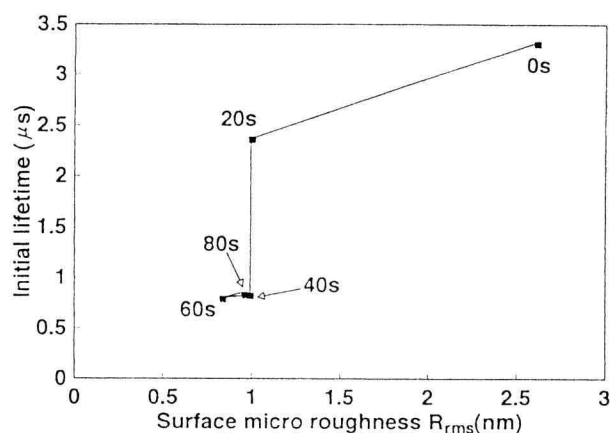


Fig. 8 Initial lifetime measured as a function of surface micro roughness  $R_{rms}$ .

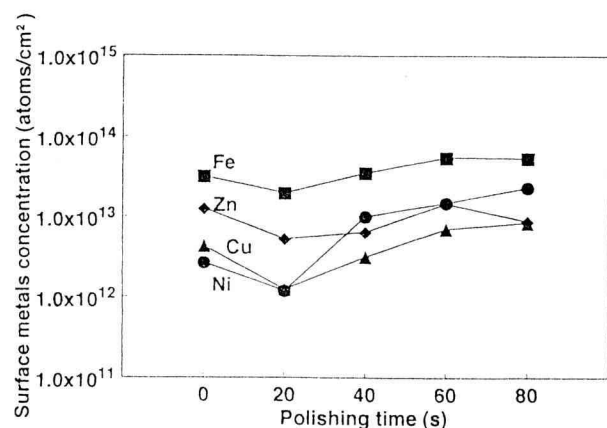


Fig. 9 Surface metals contamination measured as a function of polishing time.

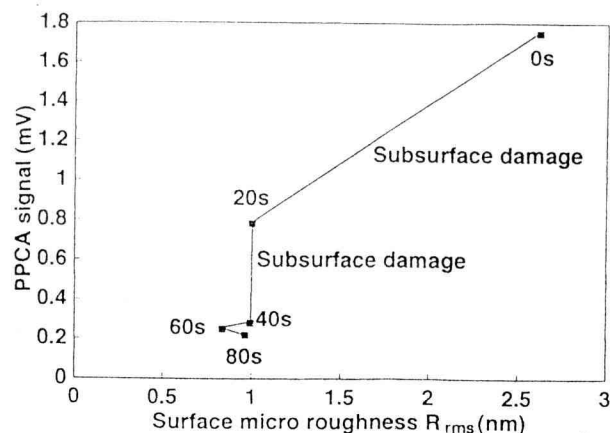


Fig. 10 PPCA- $R_{rms}$  relationship for explaining the PPCA behavior.

ダメージによると言える。あとの 60 秒、80 秒研磨後の 2 つの PPCA は変化していない。それは、その研磨によってダメージは除去されずに残留していたと考えられる。この検討をまとめたものを Fig. 10 に示す。それに示すように、はじめの 20 秒間研磨で表面層にダメージが入り PPCA が減少した。つぎの 20 秒間の研磨では、さらにダメージが入り、PPCA が減少した。その後の 2 つの 20 秒間の研磨では、ダメージは残ったままであった。このように考えれば、この PPCA のふるまいを説明できる。

## 5. あとがき

青色レーザとマイクロ波を用いたシリコンウェーハ表面層の新しい非接触測定評価法を提案した。

ミラー研磨した試料に対して、本方法で測定した PPCA- $R_{rms}$  関係と別法で測定した初期キャリアライフタイム  $\tau_{a0}$ - $R_{rms}$  関係の一致、および、PPCA、表面ラフネス、PCA、重金属汚染量の関係の比較検討から、青色レーザ/マイクロ波光導電で測定される PPCA 信号によりミラー研磨で導入された表面層ダメージを評価できることが分かった。

## 謝辞

TXRF 測定において、多大なご協力をいただきまし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, K. Yakushiji, N. Tate, Semiconductor Silicon/1994, The Electrochemical Society, **94**, pp. 1083-1092 (1994)
- 2) Y. Ogita, M. Nakano, H. Masumura, MRS, **378**,

- pp. 591-596 (1995)
- 3) Y. Ogita, M. Nakano, H. Masumura, Defects in Semiconductors 18, **196-201** pp. 1813-1816 (1995)
  - 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, (1997), to be published
  - 5) 篠原 洋、荻田 陽一郎、UV/mm 波光導電振幅法によるシリコンウェーハ研磨時表面/表面層の評価、神奈川工科大学研究報告、**B-22**、(1997)
  - 6) Y. Ogita, Res. Rept. of Ikutoku Technical Univ. **B-6**, p.105 (1981)