

Si ウェーハ表面層のマイクロ波光導電周波数応答による評価

安野勇樹¹・荻田陽一郎²

¹ 大学院工学研究科電気電子工学専攻

² 電気電子工学科

Si Wafer Subsurface Characterization Using Microwave Photoconductivity Frequency Responses

Yuuki ANNO¹⁾, Yoh-Ichiro OGITA²⁾

Abstract

Photoconductivity frequency responses (PCF) method with blue laser photoexcitation has been developed for evaluating surface and subsurface property. Carrier lifetimes obtained from PCF measurements for silicon wafers has revealed to correspond to that determined from surface and subsurface lifetimes, due to comparing with lifetime by Bi-surface photoconductivity decay. PCF photoconductivity amplitude reflected nearby-surface damage induced by H_2^+ ion implantation. PCF reflected microroughness and subsurface damage induced by chemomechanical polishing.

Keywords: Si wafer, Subsurface carrier lifetime, Subsurface characterization, H_2^+ ion implantation, Polishing pressure

1. まえがき

ULSI の MOS トランジスタの縮小化にともない、そのゲート酸化膜の薄膜化が要求されている。Si ウェーハ表面層中の COP (Crystal originated particle)、重金属汚染、鏡面研磨ダメージがゲート酸化膜耐性を低下させるという重要な問題がある^{1~3)}。そのため、Si ウェーハの表面層の厳密な評価が必要になる。表面層を評価するために電極をつけると表面層も影響を受けるため、非接触、非破壊な評価法が望まれる。

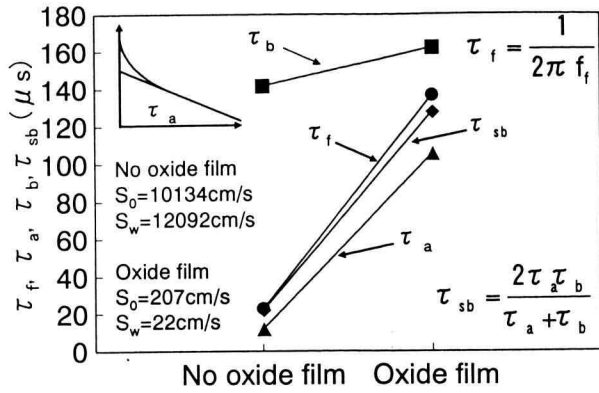
本研究室では、これまでに、表面および表面層の非接触・非破壊測定評価法として、UV/ミリ波 PCD 法を用いた光導電振幅 (PCA: Photoconductivity amplitude) 法、光導電減衰 (PCD: Photoconductivity decay) 法^{4~5)}、BSPCD (Bi-Surface photoconductivity decay) 法⁶⁾、マイクロ波で青色レーザパルス光導電振幅 (PPCA: Pulse photoconductivity amplitude) 法^{7~8)}を提案してきた。しかし、UV/ミリ波 PCD 法を用いた PCA、PCD 法ではキャリア励起光パルス幅が 1ns と短いため、光導電変化が小さく、測定される光導電振幅が小さいため測定感度が鈍い。また、PPCA 法ではパルス幅が長いので、測定感度は増加するが、振幅が測定系に

依存するため、定量的なパラメータ (例えばキャリアライフタイム) が直接求められない、つまり、定量的評価ができていないという問題があった。

そこで、本論文では光励起周波数を変えて、光導電度の遮断周波数測定から、表面層ライフタイム値を求める定量的評価方法を提案する。ここでは、それを光導電周波数応答法 (PCF: Photoconductivity frequency responses) と呼ぶことにする。まず、本方法の測定原理、測定装置と測定方法について述べる。本方法で、Si ウェーハの何を、またどの位置のキャリアライフタイムを測定しているのかを検討するため、酸化膜有り、無しの試料に対する BSPCD 法のライフタイム測定結果と本方法の測定結果を比較検討する。次に表面層を反映した信号が得られるかを検討するため、Si ウェーハ表面層にわずかなダメージを作る H_2^+ イオンを注入した試料の本方法のライフタイム測定結果と UV/ミリ波 PCD 法、PPCA 法の結果を比較する。最後にウェーハ鏡面研磨時の研磨状態をモニターできるかを検討するため、鏡面研磨圧力を変化させた試料を測定した結果について述べる。

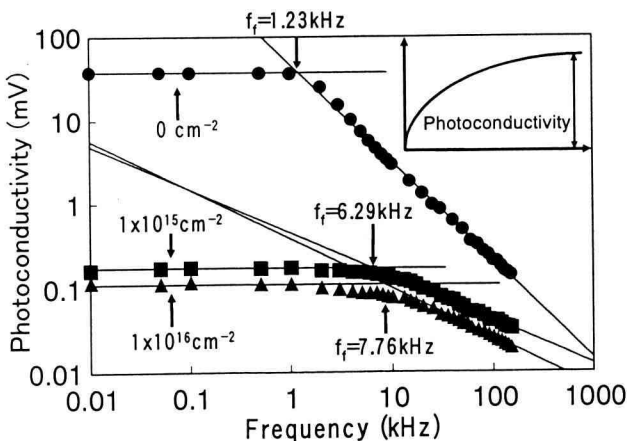
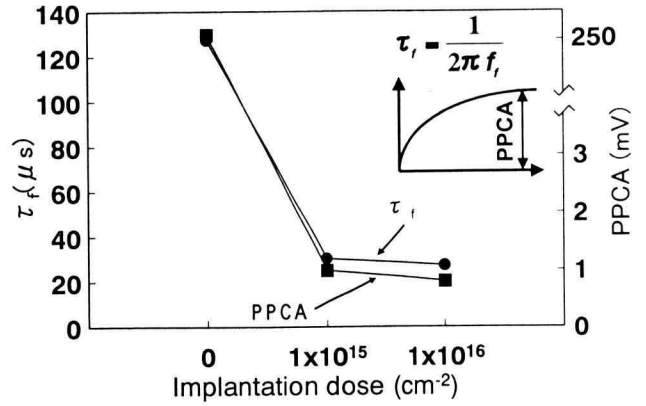
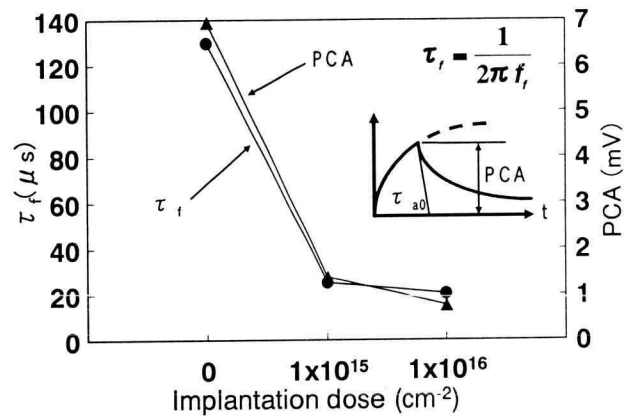
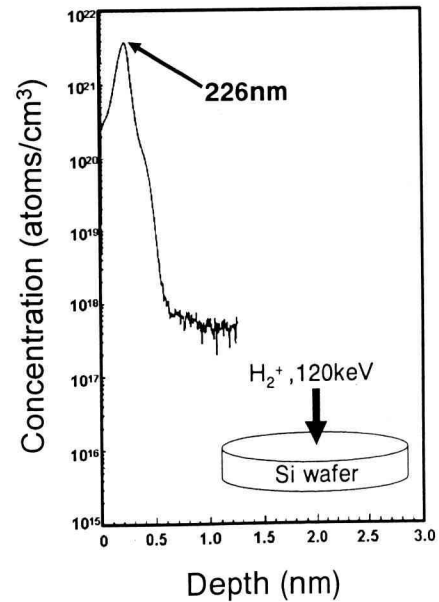
2. 測定原理および測定方法

Fig. 4 Photoconductivity frequency responses for Si wafers with oxide films or without oxide films.

Fig. 5 The comparison between τ_f , τ_a , τ_b , and τ_{sb} .

4. H_2^+ イオン注入欠陥の PCF 測定

抵抗率 $10\Omega\text{ cm}$ 、p形、面方位(100)、厚さ約 $625\mu\text{ m}$ 、酸化膜厚約 400 nm の Si ウェーハに H_2^+ イオンを注入エネルギー 120 keV 一定で、注入量を 0 cm^{-2} 、 $1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-2}$ と変化させて注入した試料の光導電周波数応答を測定した。その測定結果を Fig. 6 に示す。 H_2^+ イオンの注入量の増加とともに光導電振幅は減少し、折れ点周波数 f_i の値が増加していることが分かる。次に、測定した τ_f と、別法の PPCA 法による PPCA の測定結果との比較を Fig. 7 に示す。 τ_f は H_2^+ イオンの注入量の増加とともに減少しており、PPCA も減少している。また τ_f と別法の UV/可視波 PCD 法による PCA の測定結果との比較を Fig. 8 に示す。PCA も τ_f や PPCA と同様に注入量の増加とともに減少している。SIMS による測定結果から H_2^+ イオンのピーク深さは Fig. 9 に示すように、 226 nm であった。以上のことから、PCF、PPCA、PCA とともに表面層の欠陥度合いを反映していると考えられる。

Fig. 6 Photoconductivity frequency responses for H_2^+ ion implanted Si wafers.Fig. 7 The comparison of τ_f and PPCA measured for H_2^+ implantation Si wafers.Fig. 8 The comparison of τ_f and PCA measured for H_2^+ implantation Si wafers.Fig. 9 SIMS profile measured for H_2^+ ion implanted.

5. 鏡面研磨面 Si の PCF 測定

抵抗率 $10\Omega\text{ cm}$ 、p形、面方位(100)、厚さ約 $625\mu\text{ m}$ の ULSI 用市販レベルの Si ウェーハを、研磨圧力を 30、35、40、50、60、65、77、187、227、260 g/cm^2 と変え 20 秒間研磨した試料の光導電周波数応答を測定した。その測定結果の代表例を Fig. 10 に示す。研磨圧力が 65 g/cm^2 では光導電振幅が大きく、折れ点周波数 f_i は低い値を示した。逆に、最も低い研磨圧力 30 g/cm^2 と最も高い研磨圧力 260 g/cm^2 では光導電振幅は低く、折れ点周波数 f_i は高い値を示した。次に測定した τ_f と、別法の PPCA 法による PPCA の測定結果を、それぞれ規格化して比較した図を Fig. 11 に示す。研磨圧力が 30–65 g/cm^2 と増加すると、 τ_f は増加しさらに 65 g/cm^2 でピークとなり、研磨圧力が 65–260 g/cm^2 と増加すると τ_f は減少することが分かる。PPCA も τ_f と同様の変化を示している。また、 τ_f と別法の UV/可視波 PCD 法によって測定をした初期キャリアライフタイム τ_{a0} の測定結果と PCF の結果を比較した図を Fig. 12 に示す。 τ_f は PCA 法の τ_{a0} の変化と良く一致している。

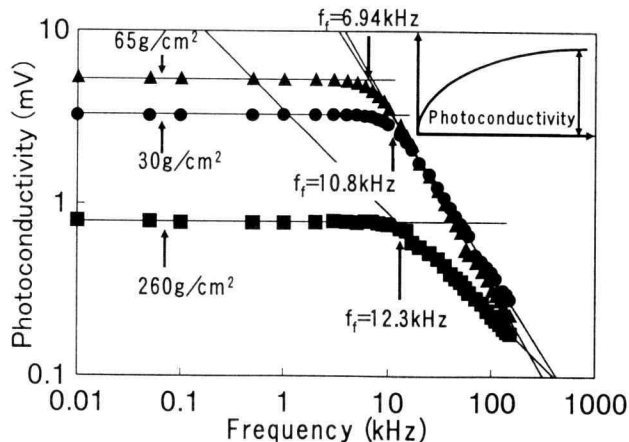


Fig. 10 Photoconductivity frequency responses measured for mirror polishing Si wafers.

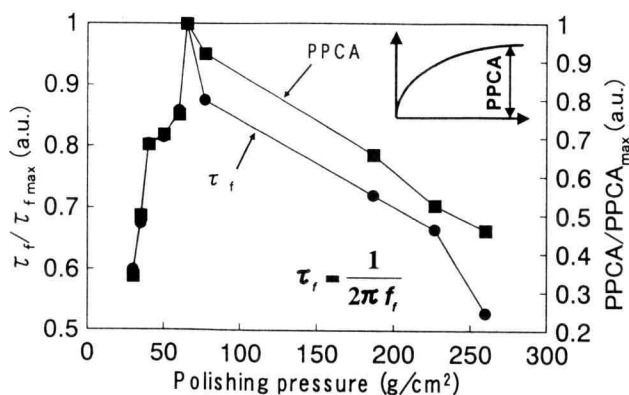


Fig. 11 The comparison of τ_f and PPCA measured for chemomechanical polishing Si wafers.

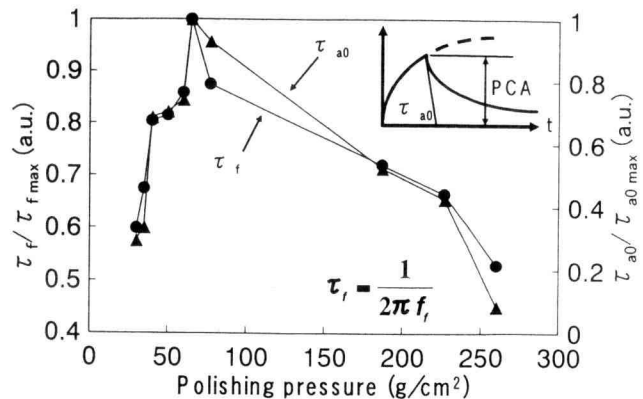


Fig. 12 The comparison of τ_f and τ_{a0} measured for chemomechanical polishing Si wafers.

ここで、本測定方法による τ_f がどのような情報を反映しているかを考えるため、 τ_f と AFM 像から求めた表面マイクロラフネス R_{rms} の関係を Fig. 13 に示す。この図から、研磨圧力が 30–65 g/cm^2 では研磨圧力の増加とともに表面マイクロラフネスは減少し、 τ_f の値は増加していることが分かる。これは研磨圧力が 30–65 g/cm^2 では、研磨圧力の増加とともに表面の長周期ラフネスが減少したことにより、ダングリングボンドが減少し、表面再結合速度が減少したためと言える。このことから研磨圧力が 30–65 g/cm^2 では、 τ_f は表面マイクロラフネスに依存していることが分かる。次に研磨圧力が 65–187 g/cm^2 では、研磨圧力の増加とともに表面マイクロラフネスは増加し、 τ_f の値は減少していることから、 τ_f はやはり表面マイクロラフネスに依存していることが分かる。187–260 g/cm^2 では、表面マイクロラフネスはほぼ一定の値を示しているにもかかわらず、研磨圧力が増加するにつれ τ_f の値は減少していることが分かる。これは、 τ_f が表面マイクロラフネス以外のファクターつまり、研磨ダメージを反映したと考えられる。

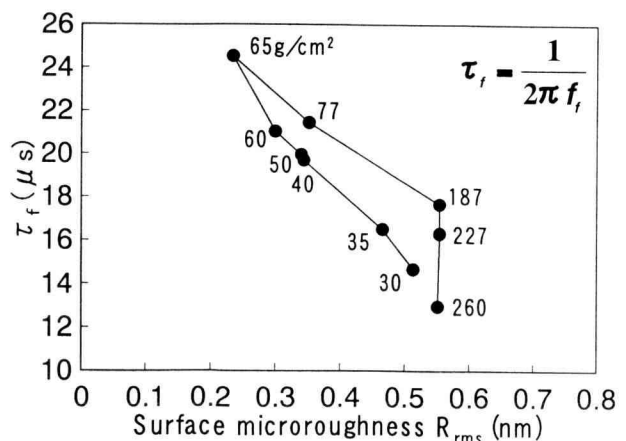


Fig. 13 τ_f v.s. surface microroughness.

6. あとがき

光導電周波数応答法を用いて、酸化膜有り、無しの Si ウェーハ試料、 H_2^+ イオン注入欠陥を表面層にもつ Si

ウェーハ、研磨圧力を変えて鏡面研磨をした Si ウェーハの本 PCF 法による τ_f 測定と、PPCA および PCA の τ_{a0} の測定結果を比較し、検討した結果、次のような結果を得た。

入ダメージのパルス光導電振幅(PPCA)による評価、神奈川工科大学研究報告 B-24 (2000)

- 1) PCF 法の τ_f は表面のライフタイムとバルクライフタイムの両方の特徴を含んだ τ_{sb} と近い値を示したことから、裏面を除いた表面・表面層を主に反映していることが分かった。
- 2) H_2^+ イオン注入量の増加にともない、別法の UV/ミリ波 PCD 法による PCA の結果および PPCA 法による PPCA の結果と同様に τ_f は減少することが分かった。
- 3) 研磨圧力を変えて鏡面研磨した試料の測定では、 τ_f の研磨圧力依存性は、別法の UV/ミリ波 PCD 法による τ_{a0} 、PPCA 法による PPCA と一致した結果を示した。 τ_f はマイクロラフネスと表面層に依存した特性を示した。
- 4) 上記の1)から3)の結果から本 PCF 法によって、表面層を評価可能であることが分かった。

7. 参考文献

- 1) Y. Udo, M. Nagura, S. Samata, and H. Kubota, The Physics and Chemistry of SiO_2 and the Si-SiO₂ Interface-3, 96-1, pp. 379-387, The Electrochemical Society, Inc., Pennigton, NJ, (1996)
- 2) Y. Ogita, K. Kobayashi, H. Daio, "PCA Characterization of Residual Subsurface Damage After Silicon Wafer Mirror Polishing and Its Removal.", Mat. Res. Soc. (1999)
- 3) Y. Ogita, Y. Hosoda, M. Miyazaki, Procineedg of Science and Technology of Semiconductor Surface Preparation, ed. by G. S. Higashi, M. Hirose, S. Raghavan, Verhaverbeke, MRS, (1997),
- 4) 篠原、荻田、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)
- 5) 小林、荻田、近藤、加藤、水素イオン注入 Si ウェーハ表面層の PCA による評価、神奈川工科大学研究報告、B-23、(1999)
- 6) 駒場、管、荻田、研磨時シリコンウェーハのバルクキャリアライフタイムと表面再結合速度の非接触測定、神奈川工科大学研究報告、B-22、(1998)
- 7) 黒川、荻田、鏡面研磨 Si ウェーハ表面層のパルス光導電振幅による評価、神奈川工科大学研究報告、B-23、(1999)
- 8) 黒川、荻田、加藤、近藤、Si 表面層 H^+ イオン注