

赤外エバネッセント光による Si ウエハ表面層のナノ欠陥計測

大阪大学大学院工学研究科 ○高橋 哲, 三好隆志, 高谷裕浩, 中島隆介

要 旨

本研究は、鏡面研磨されたシリコンウエハ表面にエバネッセント光を生成させ、その分布から、シリコンウエハ加工表面層欠陥を検出・評価する新たな計測技術の開発を目指すものである。本報では、電磁場シミュレーション解析により提案手法の妥当性について検討を行った後、深さ5nmの微小マイクロスクラッチを欠陥試料とした基礎検出実験を行い、本手法の有効性について理論・実験の両面から検討を行った。

1. はじめに

半導体集積回路の製造において、製造デバイスの信頼性を向上させるためには、歩留まり悪化の原因となるシリコンウエハ加工表面層に存在する微小欠陥を検出・評価する技術の確立が不可欠である。これらの微小欠陥検出・評価技術としては、レーザ光をウエハ表面に集光照射し、表面からの反射・散乱光を欠陥検出パラメータとする光学的手法を用いたものが一般的である。しかし、散乱光といった遠隔場における光波を検出パラメータとする手法では、次世代の半導体デバイス製造の際に問題となるような数10nm以下の微小欠陥の詳細な評価は原理的に困難である。そこで、著者らは、nmオーダーといった微小領域の光学特性に反映して生成される近接場光、すなわち、エバネッセント光に注目した新しいシリコンウエハ加工表面層微小欠陥検出法を提案している。本報では、FDTD法を用いて電磁場シミュレーション解析を行うとともに、基礎実験装置を設計・試作し、微小マイクロスクラッチの検出を試みた。

2. 赤外エバネッセント光による表面層欠陥検出法

図1に本手法の概念図を示す。シリコンに対して吸収の少ない赤外レーザビームを、シリコンウエハ内部において全反射させる。この全反射の際に、シリコンウエハ表面に漏れ出す光がエバネッセント光である。エバネッセ

ント光はナノメートルオーダーといった微小領域における光学特性の影響をうけることが知られており、表面層に微小欠陥が存在すると、その微小欠陥の属性に応じてその分布は変化する。本手法は、そのままでは観測不可能なエバネッセント光を、プローブを用いて伝搬光に変換することで間接的に観測し、その分布の変化から表面層微小欠陥の検出・評価を行うものである。本手法は近接場光を検出パラメータとしていることから、検出可能最小欠陥サイズが光源波長の制約を受けないこと、また、エバネッセント光の生成方法としてウエハ内部からの臨界角条件を利用していることから、表面上の欠陥だけでなく、従来の欠陥検出法では困難だった表面層下の内部欠陥も検出の可能性があるとといった特徴を有する。

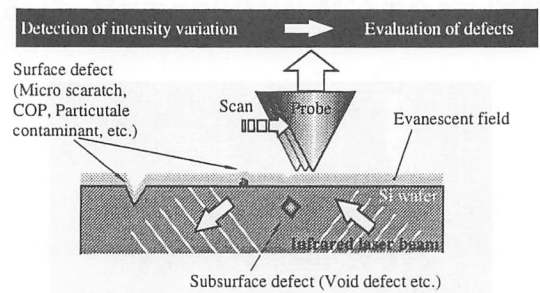


図1. 赤外エバネッセント光による表面層欠陥検出概念図

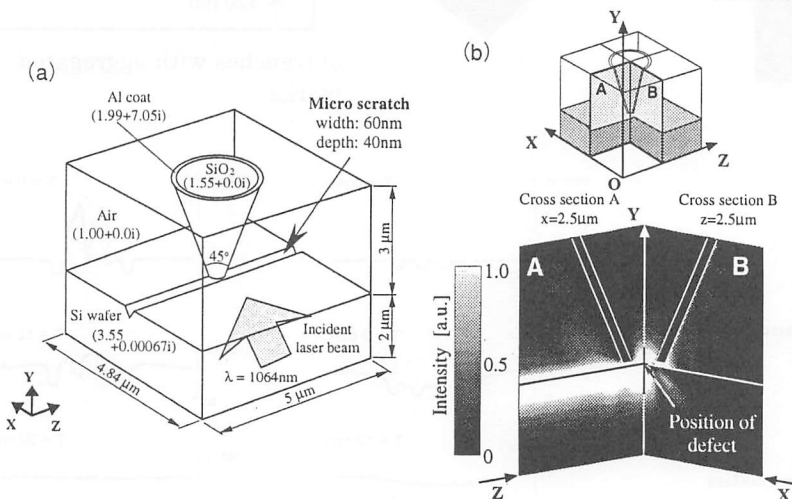


図2. マイクロスクラッチ欠陥検出シミュレーション
(a) 計算機モデル
(b) シミュレーション結果

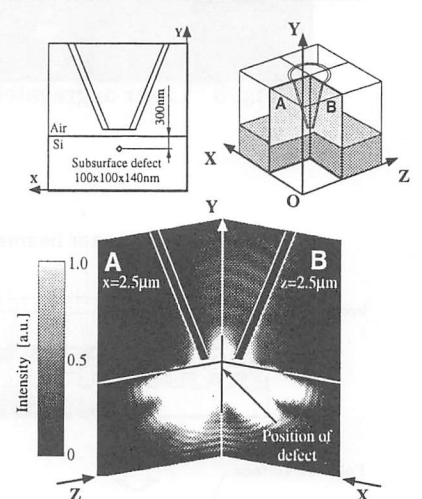


図3. 内部欠陥検出シミュレーション結果

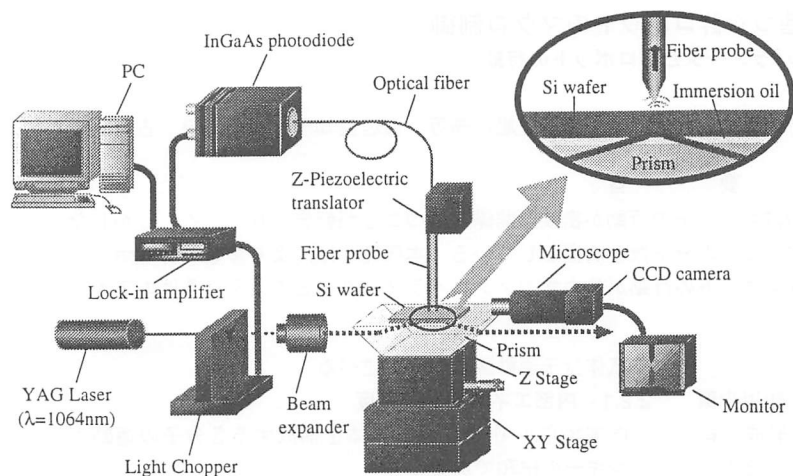


図4. 赤外エバネッセント光検出実験装置

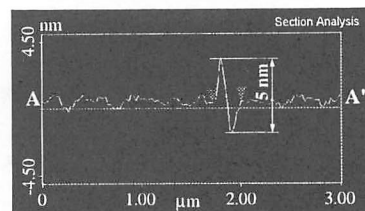
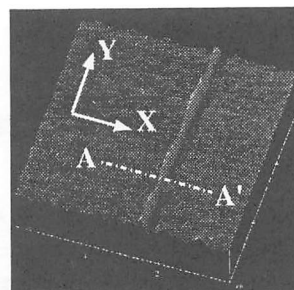


図5. 実験に使用したマイクロスクラッチ AFM 像

3. シミュレーション解析

まず、提案検出概念の妥当性について理論的に検討を行った。解析方法としては、Maxwellの微分方程式を差分化して時間領域で解くFDTD法¹⁾を用いた。図2は提案手法によるマイクロスクラッチの検出をシミュレートしたものである((a); 計算機モデル, (b); シミュレーション結果)。これは、幅60nm、深さ40nmの微小マイクロスクラッチの直上に、Alコートが施されたファイバースコープ(SiO₂)が接近した(ウエハ表面から100nm)ときの電磁場を計算したものに相当する。ここでは、マイクロスクラッチの影響を詳細に調べるため、マイクロスクラッチを設定せずに計算した電磁場分布を減算処理したものを示している。図2(b)より、マイクロスクラッチにより励起された電磁場がファイバースコープ内に導入されていることが確認できる。また、図3は内部欠陥(100nm×100nm×140nm、深さ300nm)のシミュレーション例であるが、ここでも、欠陥に起因した電磁場がプローブ内へ入っていくことが確認できることから、本手法が内部欠陥検出可能性を有していることが分かる。

4. マイクロスクラッチ検出実験

前項のシミュレーション結果に基づき、赤外エバネッセント光検出実験装置(図4)を設計・試作した。赤外光源としてはYAGレーザー(波長1064nm)を用いた。赤外ビームを、プリズムを用いて、Siウエハ裏面より内部に入射させ、ウエハ上面においてエバネッセント光を発生させる。発生したエバネッセント光はNSOM用のファイバースコープにより伝搬光に変換し、高感度赤外検出素子(InGaAsフォトダイオード)により検出する構成になっている。微弱なエバネッセント光を高SN比で取得するために、ロックインアンプとライトチョッパを用いてロックイン検出をしている。

本手法の有効性について実験的に検討を行うため、試作装置を用いて微小欠陥検出実験を試みた。本実験では、微小欠陥の一例として表面粗さ測定機の触針で擬似的に作製した微小マイクロスクラッチ(図5: AFM像; 幅約300nm、高低差約5nm)を採用した。図6に検出実験結果

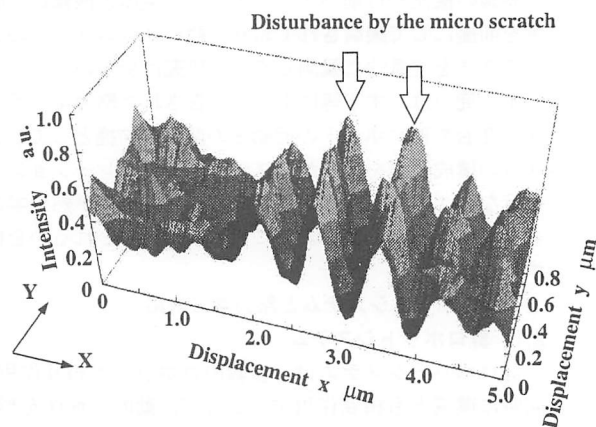


図6. マイクロスクラッチ検出結果

を示す。これは、マイクロスクラッチ周辺の5μm×1μmの領域を二次元走査したときに検出されたエバネッセント光の分布に相当する。図から分かるように、光強度が急激に変化する領域がスクラッチの方向と対応して線状に現れている。これは、本装置が、マイクロスクラッチによって変調を受けたエバネッセント光分布を伝搬光として検出できたことを意味しており、これから、本手法により高低差5nmといった微小マイクロスクラッチを検出可能であることが分かった。

5. まとめ

赤外エバネッセント光を欠陥検出パラメータとしたシリコンウエハ表面層の微小欠陥検出法を提案し、その有効性について、理論・実験の両面から検討を行った。電磁場シミュレーション解析から提案手法の妥当性について検証するとともに、実験的に微小マイクロスクラッチ欠陥(高低差5nm)の検出を確認した。今後は、内部欠陥に関しても実験的検出を試みると同時に、欠陥形態とエバネッセント光分布の関係について調べていきたい。

参考文献

- 1) 宇野享: FDTD法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998