

Title	ULSIのレーザ・電子・イオンビームを用いた欠陥解析と修正技術の開発
Author(s)	薦田, 弘敬
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48574">https://hdl.handle.net/11094/48574</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	こも だ ひろ たか 薦 田 弘 敬
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 20688 号
学位授与年月日	平成 18 年 9 月 27 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科精密科学専攻
学位論文名	ULSI のレーザ・電子・イオンビームを用いた欠陥解析と修正技術の開発
論文審査委員	(主査) 教授 安武 潔  (副査) 教授 遠藤 勝義 教授 片岡 俊彦 教授 広瀬喜久治 教授 森田 瑞穂 教授 山内 和人 助教授 渡部 平司

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、半導体集積回路 (ULSI) のプロセス・製品開発を支援し、より効率的な故障解析を実現することを目的として、レーザ・電子・イオンビームを用いた新たな故障箇所特定技術、配線・シリコン酸化膜評価技術、および試料帯電防止技術の研究開発を行った成果を纏めたものである。

第 1 章では、ULSI の故障解析フローならびに技術動向を述べることで、従来技術の課題および新たな評価解析技術開発の必要性を示し、本研究の位置づけ・意義を明確にした。

第 2 章では、OBIC (Optical Beam Induced Current) を用いた(1) コンタクトホールオープン不良箇所特定技術、(2) 検出された OBIC 信号を回路的に検証する回路解析技術を提案・実施し、それらの効果を検証した。その結果、故障箇所検出率の向上、および高精度な故障箇所特定を実現し、物理解析の成功率を向上させた。

第 3 章では、TEM (Transmission Electron Microscopy) -EELS (Electron Energy Loss Spectroscopy) 法のシリコン酸化膜欠陥評価への有効性を検討した。まず、電子線を  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面に平行に照射した時の  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  界面が EELS スペクトルに与える影響を調べ、薄膜  $\text{SiO}_2$ 、あるいは界面近傍から得たスペクトルには、界面プラズモンに起因するピークが生じ酸化膜欠陥評価の妨げになるため、注意を要することを示した。次に、電子線照射により故意に欠陥を生じさせた時の EELS スペクトルの変化を評価することで、TEM-EELS 法により nm レベルの空間分解能で酸化膜欠陥が検出可能であることを明らかにした。

第 4 章では、高電流密度印加時に Al 配線で生じているエレクトロマイグレーション現象を、結晶の微視的な構造と同時にその場観察する技術を、FIB (Focused Ion Beam) を用いて開発した。本手法を用いて、Al 配線の結晶粒と同時にボイドおよびヒロックのダイナミックな形成のその場観察に成功した。

第 5 章では、FIB による回路修正時に生じる ESD (Electrostatic Discharge) 破壊、デバイス特性シフトを防止する帯電防止技術として、(1) 500 eV 収束電子ビームを用いた帯電中和技術、(2) マイクロプロービングおよび FIB 堆積機能を用いた帯電防止技術、(3) 試料傾斜加工による ESD 破壊防止技術を開発した。これら 3 手法の帯電防止効果と帯電防止機構、ならびにそれぞれの特徴を実験結果から明らかにした。その特徴を考慮し、デバイス・加工の種類に最適な手法の使い分けを提示することで、帯電によるデバイス特性シフトを防止した状態で、各種アナログ/ロジックデバイスの効率的な回路修正を、同一装置内で実施することを可能にした。

第 6 章では、本研究において得られた成果を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

超々大規模集積回路（ULSI）デバイスの製品・プロセス開発においては短納期・低コスト化が強く求められ、量産後には高歩留まりを維持しなければならない。そのためには、不具合発生時に不良・故障原因を早急に究明し改善することが必要である。しかし、ULSI デバイスの微細化に伴い、従来の解析手法のみでは対応できなくなっている。本研究は、レーザ・電子・イオンビームを用いた新しい故障箇所特定技術、配線・シリコン酸化膜評価技術ならびに試料帯電防止技術の開発とその有効性に関する研究をまとめたものであり、主な成果は以下のとおりである。

- (1) 光ビーム誘起電流法（OBIC）をコンタクトホールオープン不良箇所特定に応用し、非常に有効な手法であることを実証している。さらに、OBIC を用いて実デバイスの故障解析を行う際、OBIC 信号検出箇所が必ずしも不良箇所と一致しない問題を解決するため、回路解析技術を提案している。OBIC 解析と回路解析を組み合わせた手法により、実デバイスの不良箇所をピンポイントで特定できることを実証し、物理解析の成功率を向上させることに成功している。
- (2) シリコン酸化膜欠陥評価における電子エネルギー損失分光法（EELS）の有用性を検討し、薄膜 SiO<sub>2</sub> あるいは界面近傍から得られるスペクトルには界面プラズモンに起因するピークが生じ、酸化膜欠陥評価の妨げになることを見出している。電子線照射により発生する欠陥と EELS スペクトルの対応を明らかにすることによって、本手法により nm レベルの空間分解能で酸化膜欠陥が検出可能であることを示している。
- (3) 高電流密度印加時に Al 配線で生じるエレクトロマイグレーション現象を、多結晶粒の微視的構造とともにその場観察するための集束イオンビーム（FIB）技術を開発し、Al 配線におけるボイドおよびヒロックの形成と結晶粒界配置の関係をその場観察することに成功している。
- (4) FIB による ULSI の回路修正を、種々のデバイスと広範囲の FIB 電流条件で可能にするための試料帯電防止技術に関し、500 eV 集束電子ビーム、マイクロプロービングと FIB 堆積、ならびに試料傾斜加工を用いた 3 種類の新しい手法を提案し、種々の実験結果からそれぞれの帯電防止効果と帯電防止機構を明らかにしている。各手法の特徴を考慮し、デバイスや加工の種類に最適な方法の使い分けを提示することにより、帯電によるデバイス特性シフトを防止した状態で、各種デバイスの効率的な回路修正を、同一装置内で実施することを可能にしている。

以上のように、本論文は、電子工学、半導体物理、薄膜物性、表面工学、結晶工学等の基盤に立って、レーザ・電子・イオンビームを用いた ULSI の欠陥解析ならびに修正に関する新しい手法の開発とその物理的機構の解明を行い、ULSI デバイス開発の効率化を実現する上で重要な役割を果たしており、半導体工学・精密科学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。