

Title	電子顕微鏡による半導体デバイスの解析技術に関する研究
Author(s)	朝山, 匡一郎
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/949">http://hdl.handle.net/11094/949</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

氏名	あさ 朝 山 匡 一郎
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21574 号
学位授与年月日	平成 19 年 9 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科マテリアル科学専攻
学位論文名	電子顕微鏡による半導体デバイスの解析技術に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 森 博太郎 (副査) 教授 弘津 禎彦 教授 藤原 康文

### 論文内容の要旨

半導体デバイスの微視的解析には、電子顕微鏡法が必須の手段となりつつある。本論文は、電子顕微鏡によるデバイス解析に焦点を合わせて、遂行上の問題点、問題点を克服するための技術開発と改良、および具体的なデバイス材料の解析を取り上げて議論した報告である。本論文は次の 7 章から構成されている。

第 1 章：情報化社会とその基盤技術であるシステム LSI の役割、及び半導体デバイス・プロセス技術の開発に果たす電子顕微鏡を用いた解析技術について概観し、本研究の位置づけを明確にした。

第 2 章：本研究における解析を遂行するために開発した位置分解型 TEM-EELS 技術を始め、本研究で用いた物理解析技術とその特徴を議論した。

第 3 章：シリコン基板に対する解析を議論した。まず、トランジスタのリーク電流と結晶欠陥の大きさには相関があることを TEM 像から明らかにした。また、結晶中の応力の定量的評価を CBED 法等で行なった。さらに、静電気によるシリコン基板の破壊では、故障箇所同定手法と物理解析結果不一致の原因を明らかにした。

第 4 章：半導体デバイスの基本素子である MOS トランジスタの不良を扱った。MOS トランジスタを異常動作させる原因として、拡散層の不純物濃度、ゲート絶縁膜の破壊等を取り上げた。いずれも 3 次元観察や位置分解型 TEM-EELS、Cs コレクタ電子顕微鏡など先端の解析装置と試料作製技術を駆使した評価の結果、いくつかの不良メカニズムモデルを検証することができた。

第 5 章：配線層とその間を接続するコンタクトホールの評価を取り上げて議論した。コンタクトホールの抵抗上昇を程度別に分類し、それぞれについて抵抗上昇が起こるメカニズムを調べた。その結果、積層した金属膜界面の結合状態の変化や汚染、さらにはシリサイドの相変化など、さまざまなメカニズムが明らかになった。また静電破壊現象を利用してデバイスに加わった静電エネルギーの推定を試みた。さらに、マイグレーション寿命とボイド分布の相関や配線層間のリークの原因を明らかにした。

第 6 章：シリコン半導体以外の半導体材料及びデバイスについてのトピックスを取り上げた。相変化をメモリに応用したデバイスでは書き込み消去の動作と結晶状態の変化を UHVEM を用いて対応付けることができた。また GaAs 超格子を用いた通信用半導体素子基板では、エピ層の異常成長の原因が GaAs 基板上にあることを UHVEM によって突き止め、プロセス改善に寄与した。

第 7 章：結言 電子顕微鏡法は半導体デバイスの微視的な解析手法としてきわめて優れており、半導体産業における研究開発において必須のツールであることを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、電子顕微鏡による半導体デバイスの解析とそれを遂行する上で必要となる解析技術について議論した報告であり、以下の知見を得ている。

- (1) シリコン基板に対する解析では、まずトランジスタのリーク電流とゲート酸化膜界面の段差の大きさに関連があることを明視野像観察から明らかにしている。すなわち、平面 TEM 法で観察したその同一箇所を断面 TEM 法で調べる手法によって、こうした構造の欠陥が寄生的なリーク経路として働いている事実を明らかにしている。次に、結晶中の局所応力については、収束電子回折法とナノビーム電子回折法を併用する手法によって 100 MPa から 1 GPa 程度までの広範囲なレベルの応力の評価が可能であることを明らかにしている。
- (2) MOS トランジスタに対する解析では、まずゲート絶縁膜の評価をおこない、新しく独自に開発した位置分解型 TEM-EELS 法を用いて調べると、絶縁膜内部における酸化ケイ素層と窒素ケイ素層との積層を 1 nm 以上の厚さ方向分解能で検出できることを明らかにしている。次に、同法の高い相対的エネルギー分解能を活用すると、ニッケルシリサイド  $\text{Ni}_2\text{Si}$ 、 $\text{NiSi}$ 、および  $\text{NiSi}_2$  の各相のケミカルシフトを識別できることを示すとともに、これに基づいて相の同定が可能であることを明らかにしている。
- (3) 配線層とコンタクトホールに関する解析では、まず、コンタクトホールの抵抗上昇を程度別に分類し、それぞれについて抵抗上昇が起こるメカニズムを調べている。その結果、 $\text{M}\Omega$  レベルの抵抗上昇はコンタクト底部の構造欠陥を伴う変質層の形成、 $\text{K}\Omega$  レベルでは厚さ数 nm のシリコン酸化膜の形成、ならびに数  $\Omega$  レベルでは窒化チタン相の窒化不足によることをそれぞれ明らかにしている。これらの解析には、EELS スペクトルの指紋照合法、EELS マッピング法、ならびに位置分解型 EELS 法がそれぞれ効果的であることを明らかにしている。また、配線層では信頼性の問題に取り組み、HVEM による電子線トモグラフィー法による観察から、マイグレーション寿命とボイドの分布には相関があり、長寿命の配線では比較的小さなボイドが一様に分布するのに対し短寿命のそれではビアホール底部に比較的大きなボイドが局在すること、ならびに、こうした局在が電流経路の著しい狭隘化をもたらすことを明らかにしている。

以上のように、本論文では、電子顕微鏡による解析によって様々なデバイス不良の原因を原子的な尺度で明らかにするとともに、位置分解型 TEM-EELS 法の開発など、そのような極微解析を可能とする新しい技術開発にも成功している。したがって、本論文は、学術的にもまた半導体産業において利用する上でも重要な知見を数多く含んでおり、材料工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。