

氏 名	久保 優吾
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 8040 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 29 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
審 査 研 究 科	数 理 物 質 科 学 研 究 科
学 位 論 文 題 目	電 子 顕 微 鏡 を 用 いた 高 感 度 局 所 元 素 分 析 技 術 の 開 発 と デ バ イ ス 信 頼 性 評 価 へ の 応 用 研 究

主 査	筑波大学教授	博士(工学)	藤田 淳一
副 査	筑波大学教授	博士(工学)	佐々木 正洋
副 査	筑波大学教授	理学博士	服部 利明
副 査	筑波大学教授	博士(工学)	白木 賢太郎

論 文 の 要 旨

本論文は、最先端電子機器の故障解析を原子レベルで実現するために、試料冷却による STEM-EELS(走査透過電子線顕微鏡電子エネルギー損失分光)を用いた新たな低損傷高感度組成構造分析手法を開発し、電子デバイス動作の故障原因と局所的元素拡散の関連を明解に解明した技術研究について記述したものである。

本研究論文では、著者が新に開発した低温分析手法を用いた故障解析を事例として、フレキシブルプリント基板の故障解析について記述されている。スマートフォンなどウェアラブルデバイスの重要構成部品であるフレキシブルプリント基板では、配線材としては低抵抗の Cu を、樹脂基板としては高耐熱性のポリイミド(PI)を用いるのが望ましい。しかしながら、Cu/PI 界面の剥離や Cu 粒子の PI 層への拡散などにより、プリント配線が経時劣化以前に剥離してしまう課題があった。

著者は、この課題に対して、著者等の開発した低温 STEM-EELS 法を適応した。その結果、ポリイミド層には、ほぼ単原子サイズに相当する約 0.1 nm の Cu 粒子が無数に存在し、製造プロセスの加熱時および高温環境下でのデバイス使用時に、PI の一部が開環し生成した-COO-基と、Cu 基板の Cu+より、-COO-...Cu+の複合体が形成されること、また Cu+が-COO-を経由して、PI 層のある程度の深さまで拡散し、-COOH 基と-NH 基が脱水縮合する際、複合体から Cu+が放出されること、さらに Cu+が PI 層に存在する H₂、SO₂、OH-等により還元され、ある程度の大きさの Cu 金属ナノ粒子に結晶成長するという、一連の原子レベルでの化学反応が、銅とポリイミド界面で起こっている事を突き止めた。

これらの化学反応の起源が明確になったことをうけ、実際のデバイス製造ラインでの雰囲気制御、酸素の抑制など、品質安定管理の指針を明確に得ることができた。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

今日の超高集積 LSI をはじめとする電子デバイスのサイズは正にナノメートルスケールに達しており、その故障解析・分析も原子レベルでの原子拡散を定量的に同定する必要がある。著者が開発した新たな低温 STEM-EELS 法は、製造現場での品質管理においてきわめて有効な手段となりうるとともに、今日の最先端デバイス研究開発現場においても極めて有効な分析技術となると評価できる。

また、ポリイミド層への Cu 粒子拡散機構については、これまでも同様の推定機構は存在したが、それを裏付ける実験事実は無く、長い間シミュレーションによる間接的な説明に留まっていた。しかし、今回著者等の研究により初めて、1 nm 以下の超高分解の観察・分析によって銅原子のポリイミドフィルム内への拡散機構、特に、ポリイミド層を通過してくる酸素とポリイミド内に生成されるカルボキシル基との反応によって銅の酸化を客観的な実験事実として証明することに成功し、学術的にも明確な証明を成しえた点が評価できる。

これらの研究業績は、しかるべき論文誌を通して公開され、短期間ながら多くのサイテーションが記録されつつある。さらに、著者による招待講演も相次ぎ、電子デバイス業界における品質管理と分析技術としての客観的業績も認められる。

〔最終試験結果〕

平成 29 年 2 月 15 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。