

2022年 2月 25日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻
学位審査委員会
委員長

石川靖彦



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	松井 拓人		学籍番号	第 143275 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学 専攻	
博士学位 論文名	半導体デバイスの開封前に適用可能な超音波加熱を利用した 故障箇所絞込み技術 (Fault Location Technique Using Ultrasonic Heating Applicable to Semiconductor Devices prior to Decapsulation)			
論文審査の 期間	2022年 1月 13日 ~ 2022年 2月 25日			
公開審査会 の日	2022年 2月 1日	最終試験の 実施日	2022年 2月 1日	
論文審査の 結果*	合格		最終試験の 結果*	合格

審査委員会(学位規程第6条)

学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。

委員長

滝川 浩史



委員

若原 昭浩



印

村上 義信



印

穂積 直裕



印

*論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

半導体デバイスが市場で故障すると、原因を調査するための故障解析が行われる。電子顕微鏡などによる顕微鏡的観察に先立ち、配線面上における故障箇所を概略絞り込む必要がある。広く利用される光学的観察手法は、保護層を除去する必要があるため、故障の再現性を損なう懸念がある。熱像や電磁プローブによる方法では、保護層を介した観察ができるが、空間分解能は低い。本論文では、保護層を除去せずに、既存の方法よりも高い分解能で故障箇所を絞り込むため、集束性と透過性に優れた超音波加熱により配線面に温度変化を生じさせ、その電気抵抗の変動を記録し画像化する方法を提案している。

第1章は研究目的と学位論文の構成を述べている。第2章では、研究の背景と着想に至った過程を説明している。第3章では、提案する測定原理と実際に試作した測定系を説明している。第4章では、模擬試料を用いて画像を取得するとともに、音場と熱伝導計算を組み合わせた数値解析との一致をみている。第5章では、保護層を形成する封止樹脂が介在する条件下においても高い感度が得られることを実験的に示すとともに、樹脂内での音響的共振が感度に影響することを計算と実験で示している。さらに、任意の厚さの樹脂層に対し、広帯域超音波の反射波形を周波数解析して、最も高い感度が得られる条件を求める方法を提案している。加えて、実用のデバイスに適用して観察を行った画像と、開封後明らかとなった故障状況との一致を確認している。第6章では、積層構造を有するデバイスに適用し、異なる深さの配線面上にある故障を選択的に観察できることを示している。第7章では全体をまとめ、他の手法に対する優位性を論ずるとともに、提案する手法の将来課題に言及している。

審査結果の要旨

半導体デバイスの故障箇所の絞り込みには、光加熱による配線抵抗の変動を検出して画像化する手法が広く用いられるが、通常保護層を形成する封止樹脂の開封作業が必要となる。樹脂の開封は故障の再現性を損なう懸念があるため、開封せずに観察可能な手法として、磁場や拡散温度場を観察する手法が援用されているが、空間分解能に限界がある。本論文は、高周波超音波の高い透過性と集束性を利用して、樹脂層を介して配線付近を選択的に加熱し、それによる配線抵抗の変動を検出して画像化する新しい観察手法を提案している。

高感度化のために、刺激信号を変調して電気抵抗の変動をロックイン検出するとともに、適切なキャリアおよび変調周波数を選択するなどの工夫が施されている。模擬試料を用いた観察を行い、音場と過渡温度場を考慮した計算結果と実験結果との一致をみている。樹脂層内での音響的共振が感度を向上させることに着目し、最適周波数条件を計算およびエコー測定によって決定する方法を提案している。企業との共同研究により、実際のデバイスに応用し、良好な結果が得られている。また、今後問題となる積層試料の観察についても、可能性を示す結果が得られている。

これら一連の成果は、半導体デバイスの新しい故障解析手法として高く評価できる。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断した。

(各要旨は1ページ以上可)