

2022年 1月 7日

電気・電子情報工学専攻	学籍番号	第 143275 号	指導教員	穂積 直裕 滝川 浩史 村上 義信
氏名	松井 拓人			

論文内容の要旨 (博士)

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
---------	--------------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

半導体デバイスのチップ部に対する故障箇所の絞込みには、封止樹脂の開封作業が必要となる。しかし、封止樹脂の開封は故障の再現性の悪化を招く恐れがある。樹脂の開封前に故障箇所を把握可能な既存手法として、磁場や発熱を利用し半導体デバイスの電流経路を観察する手法が提案されている。既存手法よりも高い空間分解能での観察のため、本論文は超音波加熱を利用した手法を提案する。提案手法の信号と超音波加熱の関係に対する波動の伝搬に基づいた検証を目的とし、三つの論点において、本論文の第4章から第6章で議論した。

本論文の第1章には、研究の目的と全体の構成をまとめている。第2章と第3章には、研究背景および提案手法の原理と測定系についてまとめている。

本論文の一つ目の論点として、第4章では、超音波加熱を利用する提案手法により電流経路を観察可能か議論した。一般に、超音波の計測技術に関する研究報告には、提案手法のように超音波加熱を電流経路の観察に利用する例はほとんどみられない。第4章では、実験と計算より、提案手法の信号が超音波加熱に起因していることを示し、電流経路が提案手法により観察可能なことを明らかにした。

二つ目の論点として、第5章では、提案手法により封止樹脂の開封前に半導体デバイスの電流経路を観察可能か議論した。実験より、封止樹脂を介しても提案手法を用いて電流経路の観察が可能なことを示した。実験と計算より、超音波の周波数には封止樹脂の厚さに対し共振に起因する最適値があり、周波数の最適値は反射波の周波数成分から推定可能なことを示した。提案手法による半導体デバイスの故障箇所の絞込みにおいて、推定した最適値で故障箇所をより明瞭に観察可能なことを明らかにした。加えて、商用の半導体デバイスでの故障箇所絞込みへの提案手法の適用例を示した。

三つ目の論点として、第6章では、積層構造を有する半導体デバイスへの適用に関して議論した。半導体デバイスは、従来のチップを多段に積層させる構造が主流となりつつある。第6章では、提案手法の積層構造への適用に関する基礎検討を実施し、積層構造で生じる超音波の共振を利用して提案手法の信号強度を向上可能なことを示した。加えて、振動子と試料の間の距離の調整により積層構造の厚さ方向への選択的な観察の可能性を示唆した。

第7章には、本論文の結論をまとめている。本論文では、提案手法の信号が超音波加熱に起因していることを明らかにし、半導体デバイスでの超音波の伝搬を考慮した適切な測定条件の選択により、測定系を変更せず提案手法の信号強度の向上が可能なことを示した。本論文で議論した提案手法の信号強度と超音波加熱との関係は、提案手法の実用化の検討における理論的な考察の基礎として寄与する。将来的に、提案手法と既存手法との相補的な運用が可能となれば、本論文の提案手法は半導体デバイスのより円滑な故障解析に貢献しうるものと期待できる。

Date of Submission (month day, year) : 1, 7th, 2022

Department of Electrical and Electronic information engineering	Student ID Number D143275	Supervisors Naohiro Hozumi Hirofumi Takikawa Yoshinobu Murakami
Applicant's name Takuto Matsui		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Fault Location Technique Using Ultrasonic Heating Applicable to Semiconductor Devices prior to Decapsulation
-----------------	---

Approx. 800 words

The decapsulation of mold resin is an important step in fault location process of semiconductor devices' chips. However, the decapsulation may lead to a deterioration of faults' reproducibility. For a rough fault location of the devices prior to the decapsulation, conventional methods of using magnetic field or heat generation have been proposed to observe current paths of semiconductor devices. This thesis proposes a method of using ultrasonic heating in order to locate faults with higher spatial resolution than the conventional ones. In chapter 4 to 6 of this thesis, three topics were discussed to study the effect of ultrasonic heating on the signal of the proposed method from the viewpoint based on the propagation of ultrasonic wave.

Chapter 1 of this thesis summarizes the objective and overview of this study. Chapters 2 explains the research background. Chapter 3 describes the principle and measurement system of the proposed method.

As the first topic, the study of chapter 4 discussed the possibility of current path observation with the proposed method of using ultrasonic heating. In common reports on measurement techniques with ultrasonic wave, there are almost no examples which make use of ultrasonic heating for observation of current paths as in the proposed method. In chapter 4, it was examined that the current paths can be visualized by using the proposed method. The results of experiment and calculation showed that ultrasonic heating causes the signal of the proposed method, and they also showed that the proposed method is able to visualize the current paths.

As the second topic, the study of chapter 5 discussed the observation of current paths by using ultrasonic heating through mold resin. In chapter 5, an experiment showed that current paths can be visualized by using the proposed method with ultrasonic heating through mold resin. From a discussion on resonance of ultrasonic wave, results of experiments and calculations showed that the proposed method has an optimal frequency of ultrasonic wave on mold resin thickness. The optimum frequency was estimated from the frequency components of reflected waves. A fault of a practical semiconductor device was clearly located with the estimated optimal frequency by using the proposed method. Additionally, the proposed method was applied to some cases of practical fault location.

As the third topic, the study of chapter 6 discussed the application of the proposed method to semiconductor devices with multilayered structure. The semiconductor devices are in a trend that they have a multilayered structure with stack of conventional chips. In chapter 6, a fundamental study was carried out to examine that the proposed method can be applied to the semiconductor devices having multilayered structure. An experimental result suggested that the signal intensity of the proposed method can be improved by appropriately tuning the frequency of ultrasonic wave based on the resonance in the multilayered structure. Further consideration suggested that the proposed method has a possibility of selective observation of chips on the depth direction of multilayered structure by adjusting the distance between the transducer and sample.

Chapter 7 concluded this thesis. This thesis showed that the signal of the proposed method is caused by ultrasonic heating. By appropriately choosing the condition of ultrasonic heating based on the propagation of ultrasonic wave in semiconductor devices, the signal intensity of proposed method can be improved without any changes on the measurement system of proposed method. The discussion of the effect of ultrasonic heating on the signal intensity will work as a theoretical basis for the implementation of the proposed method in practical use. If it is possible to use the proposed method with the conventional ones complementary, the proposed method will contribute to the smooth failure analysis of semiconductor devices in the future.