

論文審査の結果の要旨

専攻名 システム創生工学

氏名 石垣裕之

本研究の題目は、「近接する2波長を用いたデジタルホログラフィによるはんだバンプの瞬時撮像3次元形状計測」である。本論文では今後ますます需要の増加が予想される半導体業界において、業界初のインラインはんだバンプ検査装置に採用可能な計測システムとして新規の光学系を提案し、デジタルホログラフィを用いて目標の計測システムを構築した。基本性能評価とバンプ計測を行い、実用可能な計測システムであることを示した。

本論文は全6章で構成されており、第1章では、背景および研究目的となるはんだバンプ計測の重要性を示した。著者は、はんだバンプ計測の課題を示し、課題解決のための新規光学系を提案した。第2章では新規光学系と合わせて用いるデジタルホログラフィについて述べ、生産現場での使用を考慮しホログラム生成プロセスとホログラム再生プロセスにおいて最適な手法を選択した。第3章では、提案した光学系とデジタルホログラフィを組み合わせた実際のテスト装置を構築し、基本性能の評価を行い、精度において良好な結果を得た。第4章では前章のテスト装置を更に生産現場の使用に耐えうるように改善するため、レーザーと並列位相シフト法等を実装し、バンプ計測を行い良好な結果を得た。また、著者は、はんだバンプの形状の特徴を利用した画像処理を提案し、計測の信頼性を向上させた。第5章では更に新しい光学系を提案し、波長選択性を更に向上させたシステムを構築した。このシステムの基本性能を評価し、良好な結果を得た。第6章ではこれまで構築したシステムの総合的な評価と比較を行い、はんだバンプ検査装置に適した計測システムを示した。

本研究によって得られた主な成果は以下のように要約される。

1. インラインはんだバンプ検査装置に必要なはんだバンプ計測の条件を抽出し、計測を実現するための課題を明確にし、それぞれの課題に対する対策を提示した。
2. 近接する2波長による干渉像を、高い波長選択性をもち別々のカメラで瞬時撮像可能な、新規光学系を提案した。
3. LEDを光源とし、ホログラム生成方法にフーリエ変換法を用いたテスト装置を構築し、基本的な性能評価を行い、はんだバンプ計測に使用可能な精度が得られたことを示した。
4. 本システムに適した2波長計測におけるカメラアライメント調整方法を示した。
5. レーザーを光源とし、ホログラム生成方法に偏光イメージセンサを用いて実装した並列位相シフト法を採用したシステムを構築し、高速化と高解像度化を達成した。
6. はんだバンプの形状による特徴から、再生画像の強度を利用したマスクを提案し、計測精度の信頼性を向上させた。
7. 2つの波長の光軸をわずかにずらすことで、波長選択性をさらに向上させた光学系を新規に

提案し、このシステムによる計測で基本的な精度が得られることを示した。

8. これまで提示したシステムを比較し、最終的にインライン検査機に実装可能な計測システムを決定した。

本論文については、2021年2月4日、WEB会議にて、審査委員が出席して公聴会が開催された。論文発表の後、質疑応答が交わされたが、特に問題はないことが確認された。公聴会終了後、ただちに学位審査委員会を開催し、本論文の内容について詳細に検討した。その結果、半導体製造の業界における初のインラインはんだバンプ検査装置の実現に向け、新規光学系を提案し、目標達成が可能な計測システムを実証している点で、半導体業界及び3次元計測分野に大きな貢献を期待できると共に、研究内容の学術的水準と独創性においても極めて優れていると判断した。

よって、本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。