様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２４年　６月１４日現在

機関番号：８７１０４
研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2009～2011
課題番号：２１５６０１０９
研究課題名（和文）X 線透視画像を用いた電子パッケージ内部ひずみの非破壊計測技術の開発

研究課題名（英文）A new method of nondestructive strain measurement for electronic packages using x-ray images

研究代表者
小金丸　正明（KOGANEMARU　MASAAKI）
福岡県工業技術センター・機械電子研究所・専門研究員
研究者番号：20416506

研究成果の概要（和文）：本研究では、モアレ縞の位相分布を解析できる位相シフトサンプリングモアレ法をマイクロフォーカスX線透視画像に適用し、電子パッケージ内部のひずみ・応力分布を非破壊で計測・評価する全く新しい技術を開発した。画像解析コードやテストチップ等の基本的な技術を確立した。本手法により、非破壊で電子パッケージ内部のひずみ分布を一度に得ること（全視野計測）が、原理的に可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A new method of nondestructive strain measurement for electronic packages ware developed. In this method, the strain in electronic packages was obtained by applying a sampling moire method to x-ray image. It was demonstrated that whole-field distribution of the strain in electronic packages can be obtained by this method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００９年度	1,900,000	570,000	2,470,000
２０１０年度	1,200,000	360,000	1,560,000
２０１１年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総　計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：機械工学、機械材料・材料力学
キーワード：電子デバイス・機器、エレクトロニクス実装、実験力学、機械材料・材料力学

１．研究開始当初の背景

(1)　電子パッケージは材料特性が著しく異なる素材から構成されるため、実装工程で大きな残留応力（ひずみ）が発生する。この電子パッケージ中の残留応力は、パッケージの機械的不良や半導体デバイスの電気的不良を引き起こす。したがって、実装設計や製造工程段階で電子パッケージに生じるひずみや応力を適切に見積もる必要があり、各種計測方法やシミュレーション手法に関する産業界のニーズは非常に大きい。

(2)　電子パッケージ中のひずみを計測する方法として、ピエゾ抵抗ゲージが形成されたテストチップを実装して実装前後の抵抗率変化から応力値を見積もる方法、変形前後のデジタル画像の解析により変位を見積もるデジタル画像相関法、スペックル干渉法やモアレ干渉法等の光学的手法、さらにラマン分光分析による手法が挙げられる。しかしなが

ら、これら従来の方法では、非破壊で電子パッケージ内部ひずみの全視野計測はできない。

(3)　本研究では、これまでにない非破壊で電子パッケージ内部ひずみの全視野計測を可能にする手法を提供することができ、学術的価値は極めて高い。

２．研究の目的

　モアレ縞の位相分布を解析できる位相シフトサンプリングモアレ法（以下、サンプリングモアレ法）をマイクロフォーカスＸ線透視画像に適用し、電子パッケージ内部のひずみや応力分布を非破壊で計測、評価する技術を開発する。本手法では、電子パッケージに実装される Si チップに予めモアレ縞が得られるパターンを形成しておき、実装後にマイクロフォーカスＸ線透視装置を用いてパターンを撮像、実装前後の画像にサンプリングモアレ法を適用して Si チップ表面のひずみ､応力分布を得る。本研究では、Ｘ線透視画像にサンプリングモアレ法を適用するというまったく新しい着想に基づき、非破壊で電子パッケージ内部のひずみ分布を一度に得ること（全視野計測）を可能にする計測手法を開発する。

３．研究の方法

(1)　サンプリングモアレ法を用いた応力・ひずみ評価手法を確立する。
①サンプリングモアレ法アルゴリズムの開発とソフトウェア化を行う。

②テストチップおよび電子パッケージ試験片の計測と評価、サンプリングモアレ法における最適な解析パラメータ・アルゴリズムの同定を行う。

(2)　Ｘ線撮像用テストチップの開発を行う。
①チップ上パターンの素材・形状・配置の組み合わせを変えたテストチップの試作を行う。

②(1)の計測・評価結果をフィードバックし、最適なテストチップ条件を同定する。

(3)　Ｘ線撮像手法・条件を確立する。
①試作テストチップを用いて撮像条件・方法に係わる基本条件を同定する。

②(1)の計測・評価結果をフィードバックし最適な撮像手法・条件を同定する。

４．研究成果

(1)　サンプリングモアレ解析プログラムのソフトウェア化を行った。図１に、作製したプログラムによる解析画面を示す。

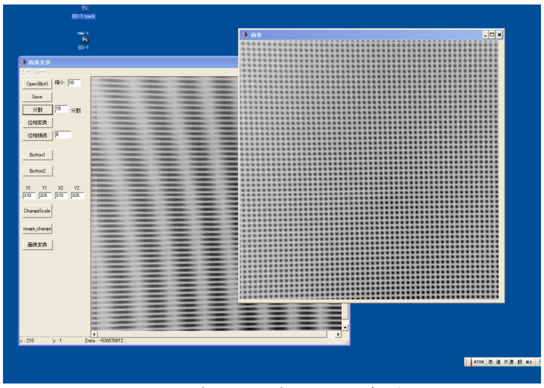


図１　サンプリングモアレ解析画面

　この作製したプログラムにより、格子状に並んだドットからモアレ縞を得ることが可能となった。

(2)　サンプリングモアレ法を適用して電子パッケージ中のひずみ測定を行うためのテストチップを作製した。図２に作製したテストチップウェハを示す。

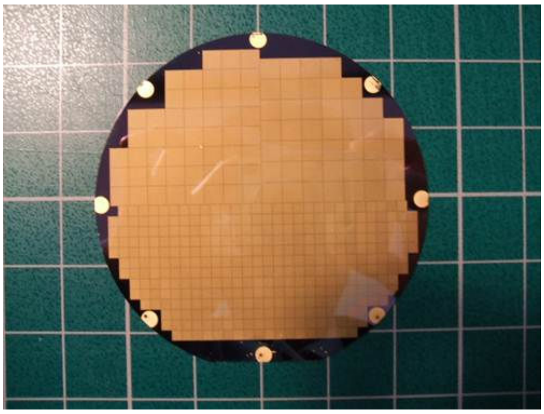


図２　テストチップウェハ

　Si ウェハ（4 インチ）上に Au を蒸着し、四角のドットを作製した。本研究では、ドットの大きさ 20μm(40μm ピッチ)、50μm(100μm ピッチ)、100μm（200μm ピッチ）の 3 種類を作製した。チップの大きさは 3mm 角、5.6mm 角および 6mm 角の 3 種類を作製した。
　作製したテストチップをデジタルカメラで撮影し、(1)で作製したプログラムで解析を行った。その結果、モアレ縞を得るためには、3mm～6mm 角の大きさのチップでは 20μm（40μm ピッチ）角のドットが最適であることが分かった。したがって、以下に示す 4 点曲げ負荷時の計測および樹脂封止パッケージでの計測においては、3mm 角でドットの大きさ 20μm（40μm ピッチ）のテストチップを用いた。

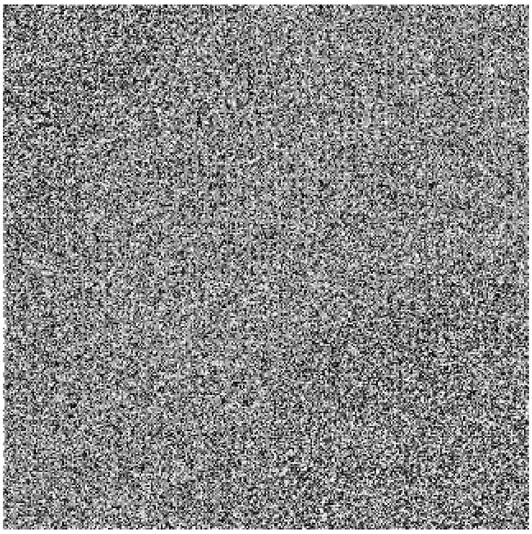


図3　4点曲げ負荷時（12.2N）のテストチップのデジタル画像

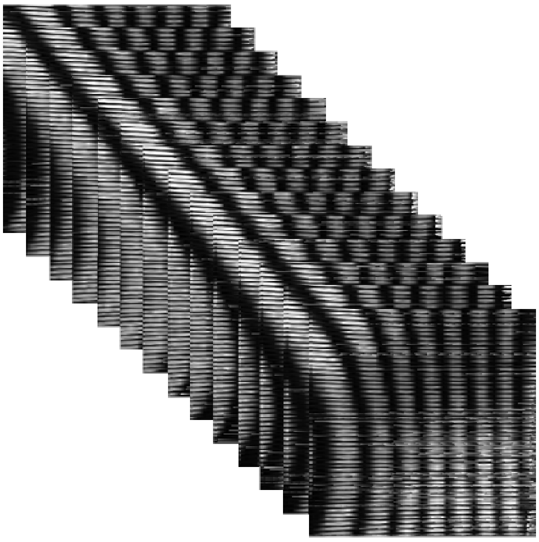


図4　4点曲げ負荷時（12.2N）の画像から得られたモアレ縞

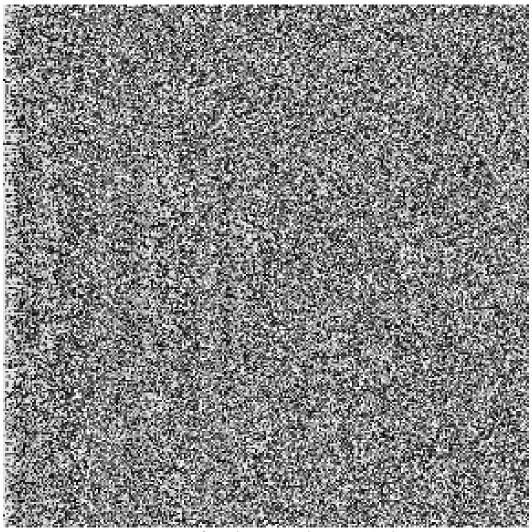


図5　モアレ縞（12.2N）の位相シフト

(3)　4点曲げ試験ジグを用いて(2)のウェハから切り出した短冊状試験片に負荷を行い、負荷した状態でドットを撮像し、サンプリングモアレ法を適用した。

図3には、4点曲げ試験により12.2Nを負荷した状態で撮像したテストチップのデジタル画像を示す。図3のデジタル画像にサンプリングモアレ法を適用し、得られたモアレ縞を図4に示す。図5には、図4のモアレ縞の位相解析結果（位相シフト）を示す。

以上から、本研究で作製したサンプリングモアレ法プログラムおよびテストチップを用いてモアレ縞を得ることができ、かつモアレ縞の位相解析が可能であることが確認できた。

(4)　樹脂封止パッケージに(2)で作製したテストチップを実装し、そのX線透視画像にサンプリングモアレ法を適用した。

図6に作製した樹脂封止パッケージ（QFP）を示す。図7(a)には、QFPに実装したテストチップを実装前にX線撮像した画像を示す。図7(b)は、QFP実装後のテストチップの透視画像である。

図8には、図7(b)にサンプリングモアレ法を適用して得られたモアレ縞を示す。この結果、X線透視画像に対しても、サンプリングモアレ法によりモアレ縞が得られることが確認できた。

図9(a)には、樹脂封止前の画像から得られたモアレ縞の位相解析結果（位相シフト）を示す。同様に、図9(b)には、樹脂封止後の画像から得られたモアレ縞の位相解析結果（位相シフト）を示す。これらの結果から、X線透視画像に対するサンプリングモアレ法のモアレ縞に対しても、位相解析が可能であることが確認できた。

図10には、図9のX-X’上での位相接続結果を示す。図10から、樹脂封止前後で位相接続が異なることが分かる。これが、樹脂封止前を基準とした樹脂封止後のひずみに対応する。

以上、本研究で開発した手法により、非破壊で電子パッケージ内部のひずみ分布を一度に得ること（全視野計測）が、原理的に可能であることを明らかにした。今後は、X線透視画像のノイズを除去するフィルタ等を用いることにより、ノイズが少ないモアレ縞からより高精度な位相接続を得ることができると考えられる。また、位相接続結果からひずみを算出するためには、テストチップ画像の1画素と実際の長さとの対応が必要となるが、ジグ等に既知スケールを作製しておき、これをテストチップ撮像の際に同時に撮像することにより対応を取ることができると考えられる。

５．研究組織
(1)研究代表者
小金丸　正明 (KOGANEMARU MASAAKI)
　福岡県工業技術センター・機械電子研究所
　・専門研究員
　研究者番号：20416506

(2)研究分担者
内野　正和 (UCHINO MASAKAZU)
　福岡県工業技術センター・機械電子研究所
　・専門研究員
　研究者番号：30416507

糸平　圭一 (ITOHIRA KEIICHI)
　福岡県工業技術センター・機械電子研究所
　・主任技師
　研究者番号：90463497

(3)連携研究者
池田　徹 (IKEDA TORU)
　京都大学・工学研究科・准教授
　研究者番号：40243894

宮崎　則幸 (MIYAZAKI NORIYUKI)
　京都大学・工学研究科・教授
　研究者番号：10166150

浅野　種正 (ASANO TANEMASA)
　九州大学・システム情報科学研究科・教授
　研究者番号：50126306

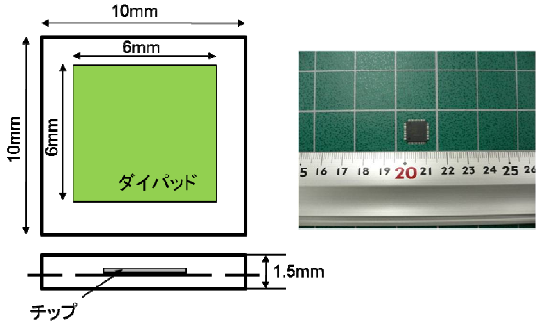
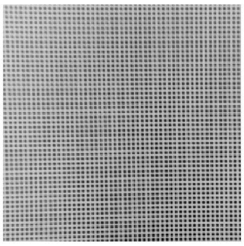
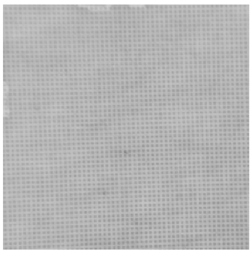


図６　樹脂封止パッケージ (QFP)



(a)



(b)

図７　テストチップの透視画像
(a)樹脂封止前(b)樹脂封止後

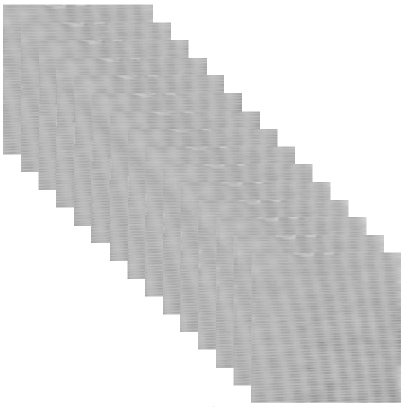
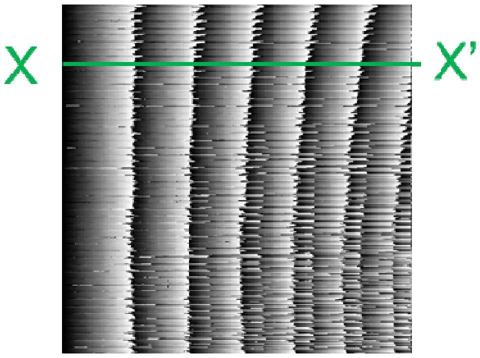
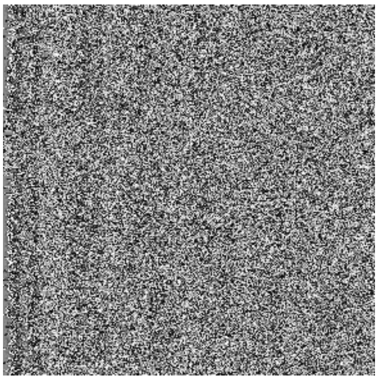


図８　樹脂封止後の画像を用いたモアレ縞



(a)



(b)

図９ 位相シフト解析結果
(a)樹脂封止前画像(b)樹脂封止後画像

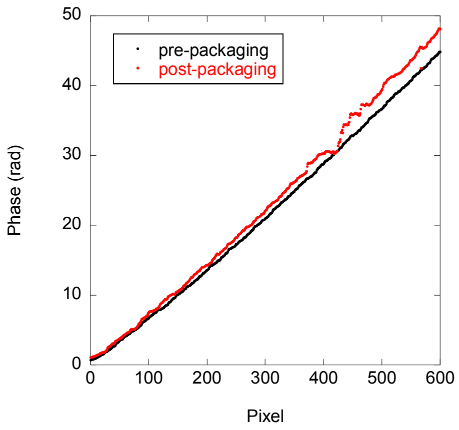


図 10　位相接続結果