

薄膜の常温接合による3次元微細加工技術の
開発とオーバーレイ誤差の要因解析

2011年度

山田 高幸

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第	号	氏 名	山田 高幸
主 論 文 題 目 :				
薄膜の常温接合による 3 次元微細加工技術の開発とオーバーレイ誤差の要因解析				
(内容の要旨)				
<p>情報機器等の小型化・高性能化・低消費電力化などの要請に伴い、さまざまな微細加工技術が開発されている。このような要請に応えるため、本研究では nm オーダーの加工精度と 3 次元形状の自由度を両立する微細加工技術として、薄膜パターン部材を常温接合法によって積み重ねる積層造形法 (FORMULA 技術) を新たに開発した。さらに本加工技術に起因するオーバーレイ誤差 (層間の重ね合わせにおけるズレ) の計測法を開発し、加工装置の誤差要因を特定することを目的とする。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と目的、従来技術、および本論文の構成について述べた。</p> <p>第 2 章では独自の微細加工技術である FORMULA 技術の原理を説明するとともに、原理検証機 (F-0 機) の設計と構成要素および微小部品の作製結果について説明した。</p> <p>第 3 章では、F-0 機製作から得られた知見をフィードバックして微小部品の自動生産を視野に入れた生産対応機 (F-1 機) の設計・製作について述べ、加工結果について説明した。その結果、多層積層時のオーバーレイ誤差が、積層精度向上に対して主要な課題であることが示された。</p> <p>第 4 章では、オーバーレイ誤差を効率よく計測することを目的に開発した最小二乗円法について詳しく述べた。この方法は、多層積層された同心円パターンの中心座標の変位を計測するもので、走査型電子顕微鏡による同心円パターンの撮影、および円エッジの抽出、最小二乗法による中心座標の計算からなる。同一画像を 5 回評価した場合の繰返し精度は、3σ (標準偏差の 3 倍) の範囲で 1 pixel 以下、距離に換算して 28.4 nm であった。</p> <p>第 5 章では、この計測手法を F-1 機による積層結果に適用し、オーバーレイ誤差を評価・解析した結果について説明した。オーバーレイ誤差は、セル内のランダム誤差(34 nm)、セル間のランダム誤差(98 nm)、およびセル間の系統誤差(32 nm) の 3 種類に分類できることがわかった。セル内のランダム誤差の主要因は、ドナー基板上に形成した構造体の断面パターンのパターンニング誤差(25 nm)と、計測誤差(10 nm)であることを明らかにした。セル間のランダム誤差の主要因は、装置の振動に伴う XY ステージの位置決め誤差(74 nm)と Z 軸の XY 面内ブレ(46 nm)であった。一方、セル間の系統誤差は、ドナー基板座標系と XY ステージの座標系のアライメント調整を実施しているにもかかわらず発生しており、その原因は、アライメントマーク位置座標読み取り時のランダム誤差がアライメント係数に伝播しているためと判明した。そこでアライメントマーク位置座標を複数回読み取り、平均値を用いたところ、系統誤差は約 1/3 (9 nm) に改善された。</p> <p>第 6 章では、各章の内容を総括し、本研究の成果について述べた。</p>				

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, First name YAMADA, Takayuki
<p>Title</p> <p>Development of 3D Microfabrication Technology Using Surface Activated Bonding and Its Analysis of Overlay Errors</p>		
<p>Abstract</p> <p>In this study, a novel 3D microfabrication technology using surface activated bonding (FORMULA technology) was developed and its overlay errors of 3D microstructures were measured and analyzed by the newly-developed least square circle method.</p> <p>Chapter 1 summarizes the background and previous studies.</p> <p>Chapter 2 describes principle of the FORMULA technology with surface activated bonding. Design and components of the feasibility machine (F-0 machine) was also explained and fabricated microstructures were demonstrated.</p> <p>Chapter 3 describes the automated production machine (F-1 machine), which was designed with many feedbacks from F-0 machine and enable us to fabricate larger and more accurate devices with shorter cycle time. Fabricated devices were demonstrated and it was found that the major problem was overlay errors between layers.</p> <p>Chapter 4 describes the newly-developed least square circle method in order to measure overlay errors efficiently. This method calculates shifts of center coordinates of concentric circles and consists of (1) SEM (Scanning Electron Microscope) image capture of a truncated cone structure fabricated by multiple stacking of concentric circular patterns, (2) edge extraction of the circles, and (3) calculation of the center coordinates by the least square fitting. The repeatability of the measurement method was better than 1px in 3σ deviation.</p> <p>Chapter 5 describes the results of overlay errors in F-1 machine. An overlay error was analyzed by the least square circle method and error factors were revealed in F-1 machine. It was found that the overlay errors were classified into three factors: (1) intra-cell random error of 34 nm; (2) inter-cell random error of 98 nm ; and (3) inter-cell systematic error of 32 nm . The dominant causes of the errors were related to the components of the fabrication machine. The major causes of the inter-cell random error were the positioning error of 74 nm in XY stage and the fluctuation error of 46 nm in Z stage in XY directions. Those were induced by the vibration of vacuum pump. The inter-cell systematic error was observed in spite of an alignment operation between the donor substrate and XY stage. An alignment simulation was revealed that the systematic error was developed by the random error of alignment mark coordinates acquired in the alignment operation. It was also demonstrated that the inter-cell systematic error was reduced down to 9 nm by applying an average reading method of the alignment mark coordinates.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results of this study.</p>		