

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 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20760092

研究課題名（和文） 機上測定を用いた超精密加工機の性能評価手法

研究課題名（英文） evaluation of ultrahigh precision machining tool using on-machine measurement of diffraction gratings

研究代表者

森田 晋也 (MORITA SHIN-YA)

独立行政法人理化学研究所・超精密加工技術開発チーム・協力研究員

研究者番号：30360655

研究成果の概要（和文）：

超高分散かつ高効率の回折格子の製作を目的として、機上測定を用いた超精密加工機の性能評価手法を開発した。回折格子溝の加工手法として、脆性材料加工用工具および加工法、マイクロ切削加工法、超精密バニシング加工法の開発を行った。回折格子基板形状を測定するレーザーオートフォーカス式機上測定器による機上測定手法を開発した。加工機上で回折光のスポット測定を行うことを目的として、レーザー回折光分布機上測定法の開発を行い、溝形状の加工法による違いが加工機上で直接的に計測評価できることを実証した。

研究成果の概要（英文）：

A performance evaluation method of ultrahigh precision machine tools has been developed for the manufacturing of high-efficiency ultrahigh-dispersion diffraction gratings, using on-machine measurement units. In order to construct fabricating processes of diffraction grating groove, long-life diamond cutting tools for brittle materials, diamond burnishing for soft or amorphous metal materials tools has been developed. A compact laser autofocus displacement sensor has been developed and on-machine profile measurement system has been constructed and a profile of grating substrates has been measured. On-machine diffracted light measurement method has been developed, and a difference between burnished groove and micro cut groove has been observed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：機上測定、超精密加工機、超精密切削、回折格子、単結晶ダイヤモンド工具

1. 研究開始当初の背景

赤外線領域での高い波長分解能 ($\lambda / \Delta \lambda$) $> 10,000$ を有する分光法を実現する回折格子としてイメージングレーティングを用いることにより、FT-IR に匹敵する高い波長分解能が得られつつ、装置の小型化が可能となる。

しかしながら、加工性の悪い赤外線透過結晶表面の規則的な溝加工の困難のため、従来は実現していなかった。中間赤外線高分散分光観測装置開発のためのゲルマニウム単結晶イメージングレーティングは、超精密機械加工手法を用い研究代表者らによって数年前に初めて開発に成功していた。

2. 研究の目的

赤外線領域での高い波長分解能を有する回折格子の開発を行うために、マイクロ切削加工などのマイクロ機械加工による微細溝形状創成と評価を行い、加工機上加工面性状精密計測によって加工機の運動性能と微細形状の転写精度を計測させ、加工計測フィードバックによる高精度溝加工法を確立することにある。

3. 研究の方法

(1) 脆性材料加工用工具および加工法の開発

赤外領域において使用される回折溝を作成する母材として、難削材である硫化亜鉛ウエ

ハーを入手し、赤外線領域での回折格子として機能させるための単結晶ダイヤモンドを用いた延性モード切削を試みた。回折格子の溝として機能させるためには長距離の加工長が必要となるため、工具長寿命化のため、単結晶ダイヤモンドの結晶方向を高脆材料の加工に最適化した工具の開発を行った。開発された工具を用いて母材表面への溝加工試験を行い、加工性能の評価を行い加工条件の最適化を試みた。

(2) レーザオートフォーカス式機上測定器による機上測定

レーザオートフォーカス式機上測定器を超精密3次元加工機に設置した。工作機械の加工中に常に表面の形状をモニターして加工にフィードバックする「クローズド・ループ」加工制御を行うシステムを開発した。

(3) 超精密バニシング加工法の開発

金属基板を用いて高い回折角の反射型回折格子を得るために超精密切削による回折格子加工を行った。また、回折効率の向上のために超精密加工装置と単結晶ダイヤモンド製工具を利用した超精密バニシング加工を行った。加工装置の精度と周囲の温度変化による加工面のうねりの発生について非接触式表面性状測定を行い、加工条件を最適化した。超精密切削とバニシング加工の比較をおこなった。

(4) レーザ回折光分布機上測定法の開発

加工機上で回折光のスポット測定を行うことを目的として、加工された面による出射光を測定・評価する装置の設計ならびに試作を行った。また加工された回折格子による回折光を加工機上で評価を行う新たな手法の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 脆性材料加工用工具および加工法の開発

工具長寿命化のため、単結晶ダイヤモンドの結晶方向を高脆材料の加工に最適化した工具および加工法の開発を行った。

(2) レーザオートフォーカス式機上測定器による機上測定

レーザオートフォーカス式機上測定器による機上測定によって微細溝の形状をサブミクロンレベルで測定できる性能を確認した。本機上測定器を用いて加工誤差をフィードバック補正する修正加工実験を行い、回折格子の基板となる非球面形状の補正加工手法を開発した。

(3) 超精密バニシング加工法の開発

超精密加工装置と単結晶ダイヤモンド製工具を利用した超精密バニシング加工工具を開発し、超精密切削とバニシング加工の比較をおこなった。回折光分布機上測定法の評価を行うテストサンプルとして有効だった。

(4) レーザ回折光分布機上測定法の開発

レーザ回折光分布機上測定法によって加工された格子面の回折スポット強度分布を加工機上で測定する装置によって回折光の測定実験を実施した。市販のグレーティングによる測定と超精密切削によって加工された回折格子による測定の両方を行い、比較を行った。SEM で測定された微細形状の変化が回折スポットに影響していることがわかった。

回折格子溝の累積的溝位置精度は近接する複数波長成分の分解能に影響し、格子溝に周期的溝位置誤差がある場合はゴーストと呼ばれる偽のスペクトルを発生させ、発生した回折光分布はマイクロバニシング加工においては反射光と回折光が連続的に広がっている光量分布をもち、バニシング加工における切削力に変化に応じて溝形状の乱れることによるランダムな形状誤差がみられた。一方マイクロ切削においては、切削された溝の回折光は上下に2本の水平方向の線が見られ、溝の垂直方向に波長 $33\mu\text{m}$ 程度の周期的な微細形状転写誤差が発生している。1次回折光と0次光の間に5カ所のサブピークが見え、切削溝は回折格子の格子間隔に加工機の運動誤差と思われる $10\mu\text{m}$ の周期的位置誤差が発生している。すなわち加工法による溝形状の違いを微細形状だけではなく回折光を評価することによって、直接的な回折格子の性能評価が行えるようになったのみならず、加工機の運動性能も合わせて評価できることが判明した。本研究において開発された加工装置評価手法の適用によって回折格子の加工に適した超精密加工装置および加工手法の開発に資する研究成果が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

①森田晋也、山形豊：超精密加工機上における回折格子の回折特性評価、2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp-507-508、査読無し、(2012)

②藤本アキラ、森田晋也、山形豊：超精密加工機による回折格子加工および評価、2012年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp-507-508、査読無し、(2012)

③藤本アキラ、森田晋也、山形豊：超精密加工機による回折格子のバニシング加工 2011 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、pp-859-860、査読無し、(2011)

〔学会発表〕(計2件)

①森田晋也、山形豊、古坂道弘：長田パッチ光線追跡を用いた中性子ミラーのアライメント誤差評価手法、日本光学会年次学術講演会(OPJ2011)、2011年11月29日、大阪大学吹田キャンパス(大阪府吹田市)

②広瀬一、三浦勝弘、塚本貴雄、山形豊、森田晋也、鈴木浩文：非接触機上計測システムの開発、2011年度砥粒加工学会学術講演会、2011年9月9日、中部大学(愛知県春日井市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://vcad-hpsv.riken.jp/jp/research/outline/member/MA503/>

<http://www.asi.riken.jp/jp/laboratories/divisions/atsd/ultra/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 晋也 (MORITA SHIN-YA)

独立行政法人理化学研究所・超精密加工技術開発チーム・協力研究員

研究者番号：30360655