

令和元年6月18日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14144

研究課題名（和文）広視野レーザ走査方式によるLED用サファイア基板のナノレベル欠陥検出技術

研究課題名（英文）Nano-level defect detection technique of sapphire substrate for LED with wide-field view laser microscope

研究代表者

新田 勇 (Nitta, Isami)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30159082

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：機器の高精度化により、平滑面を作製する技術が重要になっている。LED作製に利用されるサファイアウエハでは、微細な研磨傷が性能を左右するために、その傷検査が喫緊の課題である。現状は大がかりな検査装置を複数使って傷検出が行われている。本研究では、通常の顕微鏡に比べて400倍広い視野を持つ広視野レーザ顕微鏡という小型の装置で、ナノレベルの傷検査が可能であるかを調べた。結果としてそれが可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

欠陥検査では、ラインセンサやCCDカメラ等を用いるのが一般的であり、多方面に利用されている。現在、欠陥検出への要求は対象欠陥の微小化と、検査領域の広範囲化がある。この2つの要求は相反するものであり、微小な欠陥検出のために光学系の倍率を上げると、観察領域は狭くなる。他にも、フィルムやガラスなどの薄い透明体に対しては、照明系の選択も難しくなり、従来のカメラ型システムが不得意な分野であり、新たな手法の提案が待たれている。

本研究では既開発の広視野レーザ顕微鏡がnmレベルの微細欠陥を検出できるかを調べた。その結果、サファイアガラスとSiウエハに作製した数nmの浅い欠陥でも検出できることを示した。

研究成果の概要（英文）：With the increasing precision of equipment, the technology for producing high-precision smooth surfaces has become important. In sapphire wafers used for LED fabrication, flaw detection is an urgent issue because fine polishing flaws affect the performance. At present, flaw detection is performed using multiple large-scale inspection devices. In this study, it was investigated whether nano-level flaw inspection can be performed with a relatively small-sized device named a wide-field laser microscope with a field of view 400 times wider than that of a normal microscope. As a result, it showed that it was possible.

研究分野：機械工学

キーワード：設計工学 機械機能要素 トライボロジー レーザ走査 欠陥検査

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

欠陥検査では、ラインセンサや CCD カメラ等を用いて画像処理で欠陥を検出するのが一般的であり、多方面に利用されている。現在、欠陥検出へは対象欠陥の微小化と検査領域の拡大化の要求が大きくなっている。この2つの要求は相反するものである。微小な欠陥検出のために光学系の倍率を上げると、観察領域は狭くなる。他にも、フィルムやガラスなどの薄い透明体に対しては、照明系の選択も難しくなり、従来のカメラ型システムが不得意な分野であり、新たな手法の提案が待たれている。

広視野レーザ顕微鏡は新たな手法を提案することのできる装置である。利点は、観察範囲が大きく取れることと、数 μm のレーザスポットが小さな欠陥やスクラッチなどを検出する能力が高いことである。また、共焦点光学系を有するため、迷光やゴーストの発生がなく小さな傷も鮮明に認識できる。さらに照明光源を必要としないため、測定対象物が大きくなっても他の方式に比べコンパクトな装置となる。

ここで、現状のサファイア基板の検査方法を図1に示す。回転するサファイア基板にレーザ光を斜めに照射する。欠陥部ではレーザ光が散乱されるので、受光素子に入射する光強度が低下する。また基板は直動ステージで一方向に送られるので、基板上的全ての欠陥が計測できる。しかし、この方法では欠陥の場所が特定できるだけで、欠陥のサイズまでは分からない。検査時間短縮のためにレーザビーム直径は $30\mu\text{m}$ と太い。検出可能な欠陥のサイズも約 32nm が研究室レベルでの限界と言われている。

研究代表者はこれまでに広視野レーザ顕微鏡を開発して、円筒面や球面の観察など従来の顕微鏡では観察が困難な表面観察を行ってきた。独自のシュリンクフィット技術を用いたレーザ走査用 f レンズを使用しているために、既存の光学顕微鏡と比べて視野が約 20 倍広いのが特長である。図2はダイヤモンドペンで衝撃を与えた Si ウエハの観察画像を示す。衝撃によって生じたクラックの形状やスクラッチ傷は広範囲に分布しているが、一度の観察で様々な欠陥を検出している。図1に示す既存の検査装置に対して、レーザ光がサファイア基板上を高速に走査することが検査の高速化に貢献する。本研究では、広視野レーザ顕微鏡の欠陥検出能について、不透明な Si ウエハと透明なサファイアウエハを用いて調べた。

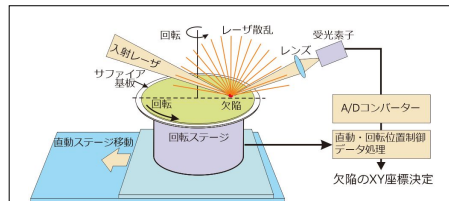


図1 ウエハの検査方法概要

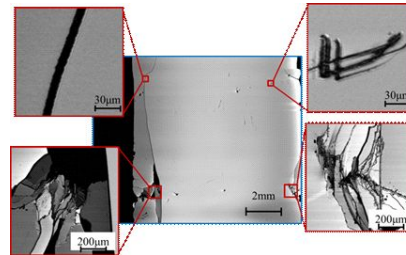


図2 広視野レーザ顕微鏡観察例

2. 研究の目的

発光ダイオード(LED)の改善は着実に進められており、光を取り出す効率については、パターン・サファイア基板 (PPS) と呼ばれるマイクロテクスチャを形成する方法で改善できるようになった。しかし、基板の鏡面加工後、ナノサイズのスクラッチ痕発生場所ではマイクロテクスチャが不完全に形成され、発光効率が改善されず結果的に製品の歩留まりが低下することになっていた。そこで、ナノサイズのスクラッチ痕を迅速に計測する安価で簡便な技術の開発が望まれているが、現状では大型の検査装置を複数台用いざるを得ない状況である。本研究では、研究代表者がこれまで開発してきた広視野レーザ顕微鏡を工夫して用いることで、サファイア基板上のナノスクラッチなどを効率よく計測する方法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

実験に用いた広視野レーザ顕微鏡の概要を図3に示す。微小な欠陥を生じさせる試験片としては、サファイアガラスと Si ウエハを用いた。サファイアガラスに入れる欠陥は、パーコピッチ圧子を用いたナノインデントで作製した。点状の圧痕のほかに、それらを重ねるように $0.5\mu\text{m}$ 間隔で 50 回押し込むことで線状の圧痕も作製した。Si ウエハ用には曲率半径 $10\mu\text{m}$ の球状圧子を用いた。

広視野レーザ顕微鏡のレーザビーム形状測定には Photon 社の Nanoscan を使用した。

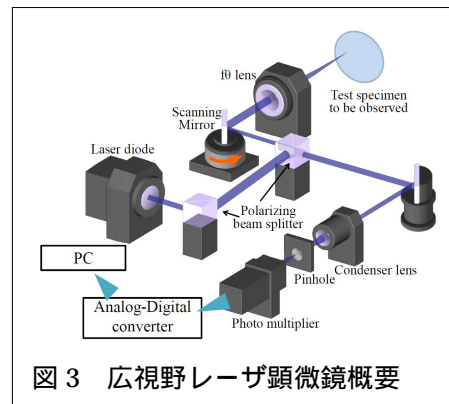


図3 広視野レーザ顕微鏡概要

4. 研究成果

4-1 サファイアガラス

4-1-1 点状圧痕

サファイアガラスの圧痕観察画像を図4に示す。画像上の数値は押し込み荷重を示す。押し込み荷重 30mN の幅が $1.51\mu\text{m}$ 、深さが 138nm の圧痕まで検出することができた。

ナノインデントに使用されているパーコピッチ圧子の形状は三角錐であるため、作製された圧痕は真上から見ると三角形になる。観察画像では荷重 500mN の圧痕まで本来の三角形状を

観察でき、それ以下のサイズの圧痕ではぼんやりとした円形で検出された。

4-1-2 線状圧痕

図5に線状圧痕観察画像を示す。線状圧痕では、10mNで押し込んだ幅0.8 μm 、深さ73nmの圧痕まで確認できた。また、線状圧痕は三角錐の圧痕の重なりで線を形成する、ノコギリ形状になる。荷重100mNの圧痕ではこの形状を明瞭に検出できたが、それ以下のサイズの圧痕では単なる線として検出された。押し込み荷重が30mNまでの圧痕は、平坦部との輝度のコントラストが大きく、欠陥と容易に判断することができた。しかし、10mN以下の低荷重で押し込んだ圧痕では、平坦部と圧痕部分での輝度の差が小さくなった。ランダムな位置にこのような欠陥がある場合、欠陥かノイズかの判定が困難である。その為、微細な欠陥ではノイズか欠陥であるか判断するための画像処理手法が必要であると考えられる。

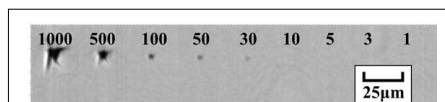


図4 サファイアの点状圧痕

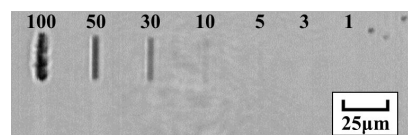


図5 サファイアの線状圧痕

4-2 Si ウエハ

Si ウエハでは、曲率半径10 μm の球状圧子を用いて線状圧痕を作製した。球状圧子の場合、パーコピッチ圧子のように計算で幅を求めることができない。そのため、AFMを用いて幅と深さを計測した。Si ウエハの観察では、幅と深さにおいてサファイアガラスの圧痕よりも小さいサイズが検出された。すなわち、サファイアガラスの検出限界は深さ73nmであったのに対して、Si ウエハでは深さが5.5nmと非常に浅い圧痕まで検出することができた。先行研究の最も小さいスクラッチの深さが4nmであるので、本顕微鏡は深さがナノスケールでの検出が可能であることがわかる。

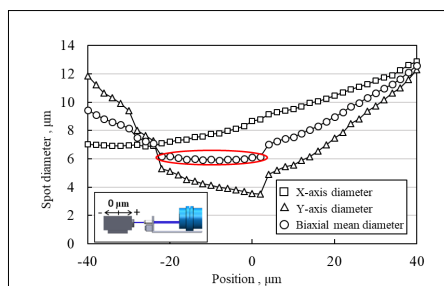


図6 広視野レーザー顕微鏡概要

4-3 広視野レーザー顕微鏡のレーザービーム形状計測

4-3-1 光軸位置に対するレーザースポット径の変化

Nanoscanによって得られたレーザースポット径を図6に示す。広視野レーザー顕微鏡のレーザー走査幅は10mmであり、その中心位置で測定した。基準位置0 μm で最もX軸の幅が小さく、X軸径3.56 μm 、Y軸径8.66 μm である。本顕微鏡のレーザー形状は、-20~40 μm の位置まで縦長のレーザーであり、それ以外は横長のレーザーであることが確認できた。グラフ上の印は、X軸径とY軸径の平均径である。赤枠で示す-20~0 μm の位置で約6 μm から一定の値を保っていることがわかる。

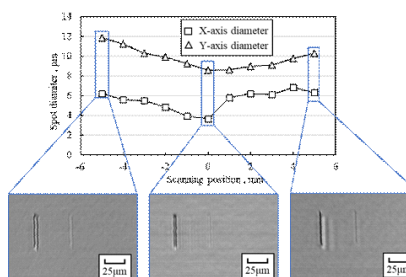


図7 広視野レーザー顕微鏡概要

4-3-2 走査方向幅でのレーザースポット径の変化

主走査方向に移動させたレーザースポットを2mm間隔で10mmにわたり計測した。図7に、計測結果と、下部に青枠で囲んだ走査位置の圧痕画像を示す。主走査方向は水平方向であり観察対象はSi ウエハである。レーザースポット径は、走査位置の中心ではX方向3.69 μm 、Y方向8.60 μm だった。左端の-5mmの位置ではX方向が6.23 μm 、Y方向が11.86 μm 、右端+5mmの位置ではX方向が6.32 μm 、Y方向が10.31 μm であった。中心位置と比較して、操作方向端部のレーザースポット径は、X軸が最大71%、Y軸は最大38%増大した。レーザースポット径は、走査位置の端に移るほど大きくなることは避けられない。しかし、本顕微鏡はシュリンクフィッタを用いることで、端部でのスポット径増大を最小限にとどめている。

図7下部の比較画像では、圧痕部分に着目すると、検出できる圧痕に違いがないことが分かる。本顕微鏡は、走査幅全域において微小サイズの圧痕が検出できるため、欠陥検査の際にはランダムに点在する微小な欠陥も、走査位置に拘わらず検出できると考えられる。

ナノインデントを利用して微小欠陥を作製し、欠陥の見え方や検出可能な限界のサイズを調べた。このような観察を通して、よりよい観察手法についても検討した。本研究を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1)点状圧痕は、幅1.51 μm 、深さ138nmまで検出可能だった。
- (2)線状圧痕は、幅0.72 μm 、深さ5.5nmまで検出可能だった。
- (3)観察面を焦点面から10 μm 程度遠ざけることで、コントラストが高い画像が得られ、欠陥を認識しやすくなる観察手法を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

小林優人, 月山陽介, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡を用いたナノレベル欠陥の検出法, 2018 年度精密工学会北陸信越支部学術講演会, 2018 年 11 月 10 日発表, 信州大学(長野), 講演番号 C11.

小林優人, 月山陽介, 新田勇, 広視野レーザー顕微鏡を用いたウエハの表面微小欠陥の検出, 日本機械学会北陸信越支部学生会 第 46 回学生員卒業研究発表講演会, 2017 年 3 月 8 日発表, 金沢大学(金沢), 講演番号 88.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://tribo.eng.niigata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 月山 陽介

ローマ字氏名: Tsukiyama Yosuke

研究協力者氏名: 菅野明宏

ローマ字氏名: Kanno Akihiro

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。