

Date of Submission:

平成 28年 1月 15日

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 115206 号	Supervisors 指導教員	高木 宏幸 中村 雄一
Applicant's name 氏名	橋本 良介			

Abstract

論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	非破壊検査のための高機能磁気光学デバイスの開発 (Development of highly functional magneto-optic device for non-destructive evaluation)
----------------------------	---

(要旨 1,200 字程度)

<p>現在、多種多様な非破壊検査が行われている。本研究は、強磁性金属の表面欠陥形状を、イメージングを利用して評価するために、磁気光学(MO)イメージングに着目し、非破壊検査のための高機能MOデバイスの開発を目的とした。MOイメージングは、被検体表面の欠陥から漏洩する磁界を、MO効果を利用して可視化する。本研究は検査の行程を欠陥評価と欠陥探査の大きく二つに分けた。そして、欠陥評価のための高空間分解能なMOデバイスと、遠隔から欠陥を探査するための位相干渉を利用したMOデバイスをそれぞれ開発した。</p> <p>一次元磁性フォトニック結晶(MPC)を利用した欠陥形状の高空間分解能評価</p> <p>本研究では、高空間分解能なMOセンサとして、ナノメートルオーダーの磁区で構成された多結晶磁性ガーネット膜を作製した。また、薄膜で偏光面回転角が増大できる特徴があるMPCを利用して、欠陥近傍で高空間分解能な漏洩磁界が可視化できると考えた。マトリクスアプローチ法により得られた光学特性と、漏洩磁界の強度分布からMPCを設計した結果、数10 μWの光源を用いた欠陥評価に十分な光強度を得た。この構造のMPCを作製し、偏光分光顕微鏡を用いて得られたMOイメージから得られた空間分解能を評価した結果、現在利用されている光学検査で要求される最高の空間分解能である25 μm(1ミル)を達成した。</p> <p>マルチキャビティMPCを利用した欠陥深さ評価</p> <p>本研究では、欠陥深さに応じて漏洩磁界強度が大きくなることに着目し、MOイメージの光強度が磁界強度に依存していることを利用して欠陥深さの評価を行った。欠陥深さを1 mmから10 mmの範囲で評価した結果、誤差が0.15 mmの精度で評価できた。しかし磁気飽和回避のために、印加磁界の制御が必要であった。そこで、印加磁界の制御を不要にするためのMPC構造を検討した。距離に応じた漏洩磁界の減衰に着目し、高さ方向に異なる位置にMO層を複数有するマルチキャビティMPCを開発した。有限要素法を用いて、試験体からの距離と漏洩磁界の強度の関係を調査し、磁気飽和することなく欠陥深さ1 mmから10 mmまで評価できるMPCの構造を設計・作製した。その結果、光源の波長選択によりMOイメージを取得する位置が直ちに選択でき、印加磁界を制御することなく欠陥深さを評価できた。</p> <p>コリニア位相干渉光学系を利用した遠隔欠陥探査</p> <p>本研究では欠陥を遠隔探査できるMOデバイスの開発を行った。位相干渉を用いて欠陥による位相の変化を検出できる装置の開発を念頭に、参照光と物体光を同軸上に伝搬させるコリニア位相干渉光学系を設計した。参照光と物体光の生成にフレネルゾーンプレートを利用することで、コリニア位相干渉光学系が実現可能であり、ナノメートルオーダーの欠陥が検知できることが示された。コリニア位相干渉光学系を作製して欠陥を模した段差の評価を行った結果、触診段差計との誤差率は4.3%で、位相干渉法による段差評価ができた。</p> <p>本研究では非破壊検査の高機能化として、高空間分解能欠陥評価用MOデバイスの開発および遠隔欠陥探査用MOデバイスの開発を行った。本研究は、光を利用して欠陥の探査および評価が可能で、新たな非破壊検査手法として貢献できると考えている。</p>

Date of Submission:

平成 28 年 1 月 15 日

Department 電気・電子情報工学専攻	Student ID Number 学籍番号	第 115206 号	Supervisors 指導教員	高木 宏幸 中村 雄一
Applicant's name 氏名	橋本 良介			

Abstract

論文内容の要旨 (博士)

Title of Thesis 博士学位論文名	非破壊検査のための高機能磁気光学デバイスの開発 (Development of highly functional magneto-optic device for non-destructive evaluation)
----------------------------	---

(Approx. 800 words)

(要旨 1,200 字程度)

Non-destructive evaluation (NDE) is an important technology for the safety. The magneto-optical (MO) imaging can visualize the magnetization distribution corresponding to the stray magnetic fields originated from defects on metal surface. Because of this, the MO imaging is suitable for the detection of the surface defects. Therefore, the MO imaging is one of the advantageous methods as the NDE technique of the metal surface. In this study, the author fabricated the MO imaging system to detect and estimate the defect as one of the NDE methods.

The spatial resolution of the MO imaging depends on the magnetic domain size. In this study, the author used the polycrystalline garnet films with a domain size of about 50 nm for the high-resolution imaging. The author also demonstrated MO imaging using the magnetophotonic crystal (MPC) with polycrystalline garnet films. In the case of thick film, the MO image is blurred because the stray field is diffused by the distance from the surface and image is spatially averaged in the MO film. In the case of thin film, it can suppress the distribution of stray field in the film, so it gives sharp MO image. In order to obtain a high-spatial resolution and high-contrast MO image, it is important for suppression of stray field distribution to reduce the MO film thickness. The MPC can enhance the Faraday rotation angle due to the Fabry-Perot resonance without increase the thickness of the MO film. The spatial resolution of obtained MO image was about 2 μm . Therefore, the high-spatial resolution and high-contrast MO image was obtained by the MPC.

It is valuable for the NDE to estimate the defect depth. However, estimation of the defect depth from a just optical image is difficult because it can provide only two dimensional information of the surface. On the other hand, the MO imaging provides the light intensity of image corresponding to the polarization rotation angle of the MO film. The polarization rotation angle depends on the stray field strength. In addition, the stray field strength depends on the defect depth. Therefore, the MO imaging has a possibility of depth estimation of defects.

The defect depth was estimated by the MO images with the MPC. However, controlling of the applied field was necessary, because the magnetization of the MPC was saturated when the defect depth was 6 mm. Therefore, to prevent the magnetic saturation, the author focused on the stray field decays gradually from the surface of specimen. The multi-cavity MPC, which has several spatially separated MO defect layers, was fabricated. This multi-cavity MPC displays MO images by controlling of the wavelength of the light source, because each MO defect layers have different localized wavelength. This multi-cavity MPC can visualize the stray field in each magnetic layer.

The phase interference optical system can estimate the specimen surface with high sensitivity. The optical system for NDE is required high disturbance resistance for remote detection of the defect. Therefore, the author focused on the collinear phase interference system for the remote NDE method. The Fresnel zone plate can generate the reference light and the object light. Therefore, in the case of the collinear phase interference system, the optical pass of both the reference light and the object light is arranged on the same axis. Since these lights are interfered, the collinear phase interference system provides the phase state of the specimen surface via MO effect (Kerr effect). Therefore, this optical system can detect defects with high sensitivity and remotely.

The MO imaging with the MPC and the collinear phase interference mentioned in this thesis are expected to contribute as one of the new NDE methods.