

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05642

研究課題名(和文)汎用ガラスを用いたホログラム採光窓の作製

研究課題名(英文)Fabrication of holographic lighting windows using general glass plate

研究代表者

原田 建治 (Harada, Kenji)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：30312820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、一般的な窓ガラスを用いた環境にやさしいホログラム採光窓の開発を目的とした。窓ガラスにホログラムを記録することにより、太陽光を最適な方向に回折させ、効率の良い採光が可能となる。実際に試作した採光窓の採光特性評価を家の模型を用いて行った。試作した採光窓を用いることにより、より多くの採光が可能であることが分かった。また、粗い誘電体表面の下に埋もれた欠陥のプロファイルを再構築するための効率的なアルゴリズムを新たに提案した。この提案した方法は、粗面上の散乱効果を含む計算を必要としないため、散乱場を高速に計算することができることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、汎用ガラスであるソーダガラスを用いたホログラム採光窓の作製を目的とする。

これは、特別なガラスを必要とせず、一般家庭にある普通のガラスに応用することができる学術的意義のある研究である。窓ガラスにホログラムを記録することにより、太陽光を最適な方向に回折させ、効率の良い採光を可能にすることにより、消費電力の低減が可能となる。また、記録されたホログラムは、高温下や紫外線下でも消去されず、耐環境性に優れている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop an environmentally friendly holographic light harvesting window using common window glass. By recording holograms on window glass, sunlight can be diffracted in the optimal direction for efficient daylighting. We evaluated the lighting characteristics of the prototype window using a model of a house. It was found that more light can be obtained by using the prototype light harvesting window. We also proposed a new efficient algorithm for reconstructing the profile of defects buried beneath the rough dielectric surface. We found that the proposed method does not require calculations involving scattering effects on the rough surface, and thus the scattering field can be calculated faster.

研究分野：光学

キーワード：ホログラム ガラス コロナ放電 窓

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般家庭で使用されている窓は、採光用または遮光用に透明ガラスやすりガラスが使用されている。ガラスの効率を高めることで、省エネルギー対策になるが、ガラスの透明化や反射防止フィルム等による効率向上には限界がある。現在までにプリズムやハニカム構造等を使用して採光に工夫を施した窓が提案されているが、窓の厚みが数センチメートル程度必要になるなど設備が大掛かりになるものが多く、あまり実用的なものはない。さらに近年、ホログラムを使用した窓が提案されてきた。これは、窓にホログラムフィルムを施して、光を最適な方向に回折させ、効率良く採光もしくは遮光する画期的な方法であるが、フィルムを施すことにより、透過率や耐久性の低下が否めなかった。

2. 研究の目的

ガラスは透明性が高く、化学的安定性に優れているため、ガラスそのものに様々な機能(紫外線カット、反射防止構造、最適な光拡散構造)を付加できれば、従来のものを凌駕する素子が実現可能となる。本研究は、汎用ガラスであるソーダガラスを用いたホログラム採光窓の作製を目的とする。一般的な窓ガラスをホログラム採光窓に置き換えることで、不要な紫外線は室外に回折されるように設計できる。また、必要な可視光線は屋内に最適に拡散され、日中に蛍光灯等で使用する電力を低減できる。我々の研究の学術的独自性は、ガラスにフィルムを貼ったり、特殊なガラスを使ったりせず、一般的な窓ガラスに用いられているソーダガラスのみで採光窓を実現することである。

3. 研究の方法

従来、ガラスの内部を加工して情報を記録する唯一の方法は、フェムト秒パルスレーザーの使用であった。本研究では、新たなガラスへの情報記録方式として、コロナ帯電を用いたガラスへのホログラム記録を適応する。安価な可視域レーザー光を用いて、ガラスに情報をホログラムとして記録することができる独創的な研究である。本研究においては、コロナ放電を用いたホログラム拡散ガラスの記録、採光窓による室内照度分布計測システムの設計、および誘電体下の散乱体再構成アルゴリズムの構築の3点について研究をおこなった。

4. 研究成果

(1) コロナ放電を用いたホログラム拡散ガラスの記録

ホログラム記録材料には、高解像度、高感度及び取り扱いの容易さが求められる。現在までに、ホログラム記録材料として銀塩感光材料や重クロム酸ゼラチン、フォトポリマー材料などが開発されてきたが、これらの材料は暗所で撮影する必要があり、現像・定着処理が必要となる。

そこで新しいホログラム記録材料として、光応答性高分子材料が注目されてきた。その中でも、アゾベンゼン高分子材料はレーザー干渉光を照射することにより、アゾ分子のトランス-シス光異性化を介した物質移動により表面レリーフ型ホログラムが記録される興味深い特徴を有する。この特徴を用いることにより、複雑な現像処理を必要とせず、光の照射という1段階のプロセスのみで記録、消去が可能であり、それを可逆的に繰り返し記録できる。さらに、図1に示すコロナ放電処理を用いることで、アゾベンゼン高分子材料に記録した構造をガラス内部に転写することができる。ガラスは可視光を透過し、ガラスと光の相互作用が起きないため、通常の方法ではホログラム等の微細構造をガラス内部に記録することはできない。そのため、これまでは高価なフェムト秒レーザーを用いたり、ガラス自体に可視域波長の吸収特性を有する材料をドーピングしたりすることでガラスへの情報記録が行われてきた。本方式を用いることで、一般的な可視域波長のレーザーを用いて一般的なガラスへの微細構造の転写・記録が可能となった。また、図2のコロナ放電装置のように、コロナ帯電による電荷パターンをそのままガラスに転写する新たな方法を試行し、有用性を確認した。

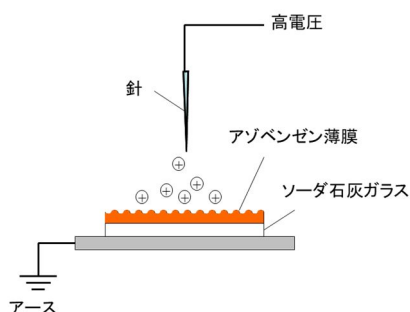


図1

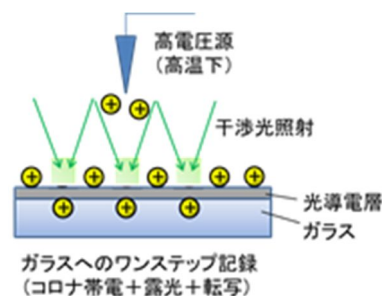


図2

(2) 採光窓による室内照度分布計測システムの設計

採光ガラスを用いた測定に向け、室内の明るさ分布計測システムを、グラフィカルユーザインターフェース (GUI) を用いて開発をおこなった。実装した GUI プログラムにより LED を点灯し、室内の明るさ分布を計測しながら、リアルタイムで GUI 上に室内の明るさ分布をグレースケールで表示することができる。

実際の実験時の写真と GUI で表示された画面の様子を図 3、図 4 に示す。図 3 は採光窓の照度分布測定用の実験装置となっており、左側に採光窓を配置し、太陽光に見立てた LED を入射する。受光用の CdS セルは床面や天井部に 24 個配置している。比較用に通常のガラス板と試作した採光素子をそれぞれ模型の窓に設置し、窓への入射角が 0 度から 70 度までの場合について明るさ分布を計測した。本システムでは、シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi) を用い、機器制御と明るさ分布計測、データ出力をおこなった。白色 LED とフレネルレンズを用いた光を入射光とし、2 個のステップモーターにより光源の高さと角度を制御した。窓内に入った光の分布は複数の CdS セルにより電圧値として取得し、AD コンバータを通して得られたデジタル値を表にまとめて出力できるようにした。図 4 が GUI 表示した結果となる。太陽の位置と部屋の明るさを表示している。このように、リアルタイムに室内の明るさ分布を理解でき、また保存済みの測定データを GUI 上で解析できるようになった。採光窓を用いることにより、通常の窓よりも採光効率が上がることが確認できた。

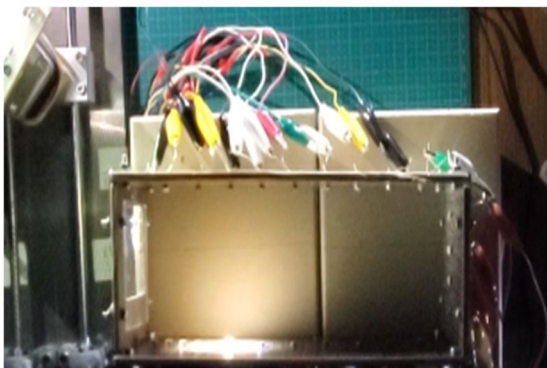


図 3

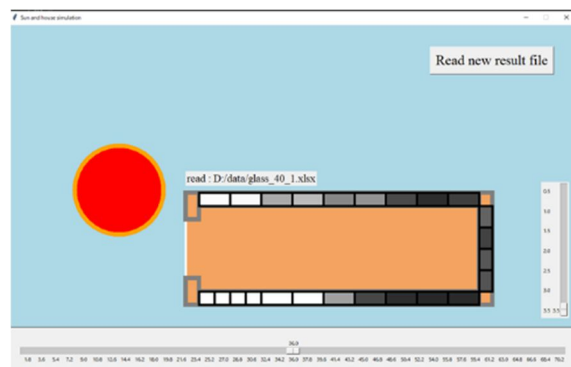


図 4

(3) 誘電体下の散乱体再構成アルゴリズムの構築

ホログラム採光窓に利用可能な、誘電体粗面下の欠陥プロファイルの再構成アルゴリズムを提案した。本アルゴリズムは、回折断層撮影などの微細加工デバイスの欠陥検査のための光計測の基礎技術ともなる。一般的なプロファイルの再構築プロセスには、かなりの計算時間を要する。そこで、散乱の厳密さを維持しながら操作回数を減らすため、新たにドメイン境界積分ハイブリッド法を提案した。計算時には、サンプルの偏光特性、散乱、および多重散乱について考慮している。図 5 に示すように、散乱体の内側と外側の領域は、 S_1 および S_2 と表し、それぞれの領域の誘電率は均一と考える。また、 S_1 の中に小さな不均一領域である S_3 が存在する有限サイズの散乱体モデルを考えた。この S_3 領域は、ガラスプレートにコロナ放電することによって生じる Na 欠乏層に相当する。Na 欠乏層領域では、わずかながら屈折率が低下する。今後、本アルゴリズムを用いることにより、Na 欠乏層のプロファイルを構築できる可能性がある。

このモデルを用いて、粗い誘電体表面の下に埋もれた欠陥のプロファイルを再構築するための効率的なアルゴリズムを提示した。ドメイン境界積分ハイブリッド法は、粗面への散乱効果を含むグリーン関数の時間のかかる計算を必要としない。その結果、この方法は、反復再構成中に散乱場を迅速に計算できる。本研究により次の 2 点の結論が得られた。まず、再構成限界に二極依存性はほとんどないことを確認した。第 2 に、照明方向を変化させることによって得られる複数の測定値は、再構成限界を高めるのに有効であることがわかった。

実際のアプリケーションでは、提案された再構成プロセスはサンプル上の正確な表面形状を取得する必要があるため、走査型電子顕微鏡または原子間力顕微鏡によるサンプル表面の測定が必要になる場合がある。本アルゴリズムでは、粗面の形状、試料内部の層状構造、飛散したフィールドデータからの埋没欠陥を同時に再構築することができ、今後のホログラム窓への設計に有効な手法となった。

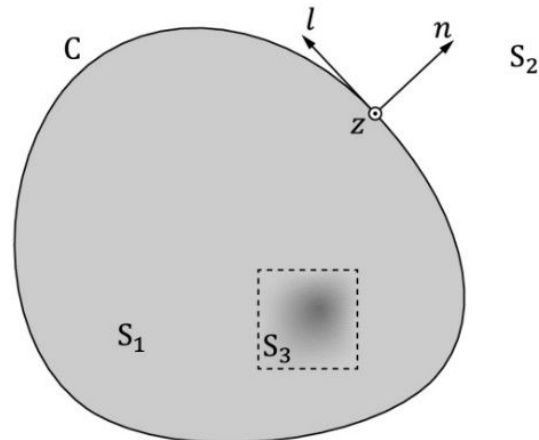


図 5

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Daisuke Sakai, Hiroshi Kakiuchida, Kenji Harada, Jun Nishikawa | 4. 巻 99 |
| 2. 論文標題 Parallel plications may enhance surface function: physical properties of transparent tunics in colonial ascidians Clavelina cyclus and C. obesa | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom | 6. 最初と最後の頁 1831-1839 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S0025315419000833 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Jun-ichiro Sugisaka, Kenji Harada, and Koichi Hirayama | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Inverse Scattering Algorithm for Profile Reconstruction of Buried Defect Beneath Dielectric Rough Surface Based on Domain-Boundary Integral Hybrid Method | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America A | 6. 最初と最後の頁 1682 1693 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/JOSAA.467550 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Aya Fukui, Daisuke Sakai, Kenji Harada |
| 2. 発表標題 Fourier Transform Hologram Recording on Soda-Lime Silicate Glass Using DC Voltage Application |
| 3. 学会等名 OPIC2022（国際学会） |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------------------|---|---------------------------------------|----|
| 研究 分 担 者 | 杉坂 純一郎 (Sugisaka Jun-ichiro) (00599227) | 北見工業大学・工学部・准教授 (10106) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|