

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06431

研究課題名(和文) コロナ帯電を用いたソーダライムガラスへのホログラム記録の最適化とその応用

研究課題名(英文) Holographic recording technology in soda lime glass substrate with corona charging and its applications

研究代表者

原田 建治 (Kenji, Harada)

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コロナ帯電を用いた可視域レーザーでの汎用ガラスであるソーダライムガラスへのホログラム記録技術の確立とその応用を目的とし、ガラスホログラムの高精度化・高効率化および環境にやさしいセキュアガラスホログラムの作製技術の確立を目指した。3年間の研究を通して、コロナ帯電温度および帯電時間の最適化を確立し、ガラスにセキュアホログラムを潜像として記録することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, establishment and application of holographic recording technology to general soda lime glass substrate using visible laser beam is considered with corona charging technique. Through three year's research, we established to optimize the corona charging temperature and corona charging time. We succeeded in the recording of a secure hologram in soda lime glass substrate as a secret image.

研究分野：情報フォトニクス

キーワード：ガラス ホログラム コロナ放電

1. 研究開始当初の背景

ガラスは透明性が高く、化学的安定性に優れているため、様々な用途に用いられている。窓ガラス、テレビのガラスパネル、ガラス光ファイバー、光学レンズ等、我々の生活にガラスは欠かせないものとなった。時代とともにガラスの加工技術も進化し、機械的研磨・切断や、電子ビーム、レーザービーム等の様々な方法でガラス表面の加工を行う技術が確立された。近年、ガラスの内部を加工する研究が数多く報告されている。機械的な方法でガラス内部を加工することはできないため、レーザー等でのビーム加工が必須となる。しかしながら、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、通常の方法ではガラス内部に加工することはできない。それを可能にする唯一の方法としてフェムト秒レーザー加工が目目されてきた。これは、フェムト秒レーザーをガラス内部で集光することで、集光点付近に高い電場を得て、多光子吸収過程を経てガラスと光の相互作用を起こし加工する方法である。この方法を用いると、一般的なガラスやナノガラスと呼ばれる機能性ガラスの内部を加工することができる。

そこで、我々は全く別の方法として、可視域レーザーを用いて、一般的なガラスにレーザー描画やレーザー干渉により、情報を簡便にホログラム記録する全く新しい方式を提案するに至り、セキュアなガラスホログラム記録に関する研究を進めてきた。

2. 研究の目的

本研究では、コロナ帯電を用いた可視域レーザーでの汎用ガラスへのホログラム記録技術の確立とその応用を目的とする。ホログラムとは、光の干渉性を用いて3次元情報を高密度記録・再生する方法であり、微細加工技術として様々な光学素子に適用できる。本研究では、記録媒体としてソーダライムガラス等の汎用ガラスを用いて、高精度・高効率かつ環境にやさしいホログラムの作製技術を確立する。本技術は既存技術とは異なり、ホログラムをガラス内部の屈折率変調分布およびガラス表面の凹凸形状として記録することができ、記録時にガラス自体の性能を劣化させないという大きな特徴を有している。透明性、耐環境性に優れ、さらにセキュリティー性を有するガラスホログラムの記録技術を確立し、早期実用化を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、可視域レーザーを用いたガラスへのホログラム記録技術の確立に向け、3つの課題である

- (1) 雰囲気制御ガラスホログラム装置の作製
- (2) 高精度・高回折効率または潜像としてのガラスホログラム記録を作製
- (3) 高透明セキュアガラスホログラムへの応用

に焦点を当てて研究を実施する。研究目的を効率的かつ確実に達成するために、すべての課題において、ホログラム材料や光学理論解析にノウハウを持つ研究分担者を加えて、共に研究を進めた。

4. 研究成果

ガラスホログラムに記録するセキュア QRコードとして、既存の SQRC の使用および独自のアルゴリズムでの暗号化を検討した。新たなセキュア QRコードを設計するにあたり、バージョン、誤り訂正レベル、マスクパターン、書き込む文字のデータ、を決定する必要がある。QRコードの簡単な基本配置図をバージョン1(21×21セル)の場合を例に図1に示す。

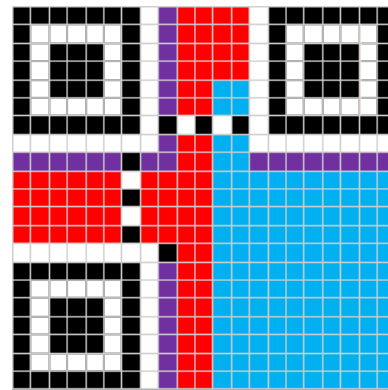


図1 QRコードの基本配置図

図1中の青い部分に文字データ(128ビット)を、赤い部分に誤り訂正符号(80ビット)を、紫の部分に形式情報(15ビット×2)を書き込む。青い部分に文字データを書き込むとき、文字は2文字11ビットの2進数に変換してから書き込む。文字が1文字余った場合は6ビットの2進数に変換する。青い部分に書き込んだ文字データが128ビットに満たなかった場合、空いた容量は仮のコード語である埋め草コード語で埋める(埋め草部)。この埋め草コード語はデータを示さないため、自由に書き換えることができる。このため、今回は埋め草部を利用し、暗号化した非公開データを書き込むこととする。文字データの書き込みの様子を図2に示す。

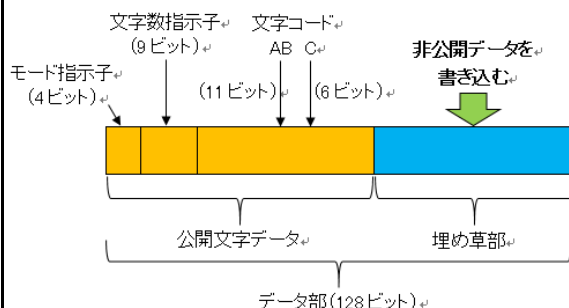


図2 文字データの書き込み

暗号化アルゴリズムとして、非公開文字コードと別で設定した外部パスワードの XOR 演算による暗号化手法を検討した。これは、非公開文字コードと外部パスワードの文字コードをそれぞれ 2 文字 11 ビットの 2 進数に変換したものを XOR 演算し、さらにその先頭に非公開文字の文字数指示子を 5 ビットで指定したものを加えて埋め草部書き込む。暗号化の流れを図 3 に示す。また、公開文字を「QR」、非公開文字を「HARAKEN」、外部パスワードを「0123456」として作製したセキュア QR コードの一例を図 4 に示す。

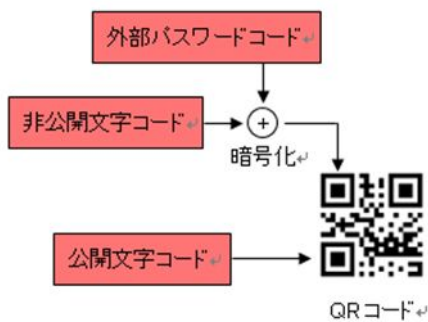


図 3 データ暗号化の手法



図 4 作製したセキュア QR コード

次に作製したセキュア QR コードをホログラム記録する。まず厚さ 1 mm のソーダライムガラス基板上に光応答性材料として、Poly-orange tom-1 を 450 nm で製膜し、150 度で 10 分間ベーキングを行った。その後アゾポリマー薄膜に対して波長 532 nm、光強度 50 mW の ND:YVO4 レーザーを用い二光束干渉露光を行い、ホログラムを記録した。記録と同時に波長 633 nm、光強度 5.5 mW のヘリウムネオンレーザー光を入射し、パワーメータを用いて一回折光強度の変化を計測した。ホログラム記録光学系を図 5 に示す。

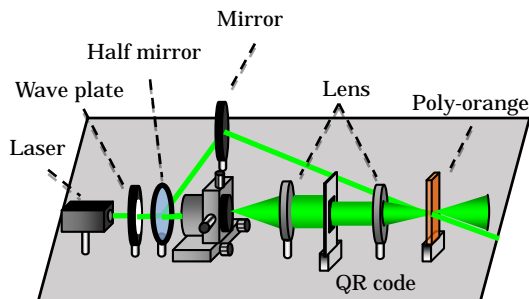
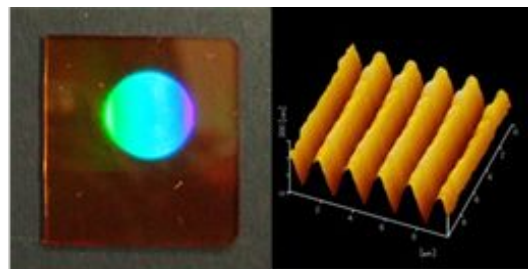


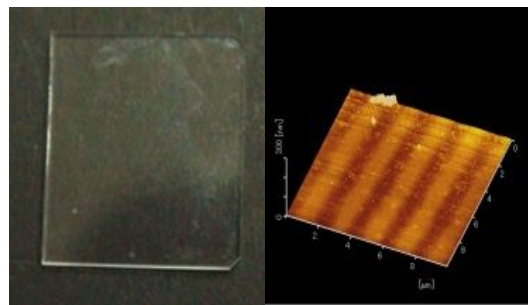
図 5 ホログラム記録光学系

次に、コロナ放電処理を行い、ガラスに転写記録後アゾベンゼン高分子材料を除去した。同様のサンプルを複数枚作製した。以上の工程によりガラスホログラムが完成するが、非常に回折効率が低く、直接観察することは困難である。そのため、選択堆積用コロナ帯電装置を設計しホログラムの増強を行った。また、エッチング処理を施すことでもホログラムの増強を行なった。

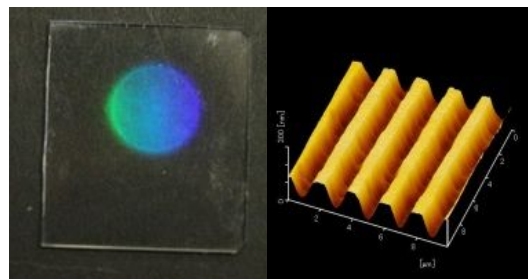
各実験手順で得られたサンプルを光記録されたホログラム(回折格子)の例を図 6 に示す。図 6(a)は Poly-orange tom-1 薄膜除去前のサンプルとその AFM 像である。図 6(b)は、薄膜除去後のガラスホログラムで、回折効率は 0.03%であった。図に示すように、潜像として記録されており直接観察することはできなかった。本サンプルを 70、55 wt% の KOH 水溶液でウェットエッチングした結果、ガラスに転写されていたホログラムの回折効率が 2.7%に増強され、ソーダライムガラス上でのホログラムの可視化に成功した(図 6(c))。今回は、セキュアのホログラムを潜像として記録する目的であるため、ホログラム増強のためのエッチング処理や選択堆積処理は実施していない。



(a) コロナ処理後



(b) 薄膜除去後



(c) 増強後

図 6 サンプルおよび AFM 像

図 7(a)にホログラムを記録したガラスの画像を示す。ホログラムを潜像としてセキュアに記録するため、選択堆積やエッチング等の後処理は施していない。図 7(b)にそのセキュアホログラムの再生像を示す。増強処理なしでも、レーザー光で十分にセキュアホログラムを再生可能であることが分かった。



(a) ガラスに記録されたホログラム潜像



(b) 再生されたセキュアホログラム

図 7 ガラスに記録したセキュアホログラム

以上のように、ガラスホログラムに記録される情報のセキュリティー強化について検討した。QR コードを独自のアルゴリズムで暗号化した“セキュア QR コード”を潜像として記録することにより、セキュリティー性の高い情報記録を目的として研究を行った。その結果、セキュア QR コードのガラスへのホログラム記録および再生に成功した。

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 2 件)

K. Harada, T. Matsuzaki, H. Qin, Stereoscopic Imaging System Using Interference Color of Retarder Films, *Optik* 156 (2018) 914–920 (査読有).

D. Sakai, K. Harada, Y. Hara, H. Ikeda, S. Funatsu, K. Uraji, T. Suzuki, Y. Yamamoto, K. Yamamoto, N. Ikutame, K. Kawaguchi, H. Kaiju, and J. Nishii, “Selective Deposition of SiO₂ on Ion Conductive Area of Soda-lime Glass Surface”, *Scientific Reports*, 6 (2016) Article number:27767 (査読有).

〔学会発表〕(計 1 1 件)

酒井大輔、中林滉平、桜井翔、高橋佳太、

兼好啓太、原田建治、柴田浩之、コロナ放電を用いたガラスのパターニング、第 53 回応用物理学会北海道支部/第 14 回日本光学会北海道支部合同学術講演会、北海道大学(北海道札幌市)、2018 年 1 月 6 日

K. Masuda, S. Nakano, Y. Kinezuka, S. Ohno, D. Sakai, K. Harada, K. Miyamoto, and T. Omatsu, Vortex nearfield with orbital angular momentum enables the chiral mass-transport in nano-scale, *Optics & Photonics Japan 2017*, 筑波大学東京大学文京校舎(東京都文京区), 2017 年 10 月 30 日

杵塚義典、増田圭吾、中野翔吾、酒井大輔、原田建治、宮本克彦、尾松孝茂、キラル表面レリーフに誘起された近接場によるキラルな質量移動、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場(福岡県福岡市)、2017 年 9 月 7 日

K. Masuda, S. Nakano, G. Juman, I. Yoshida, D. Sakai, K. Harada, K. Miyamoto, and T. Omatsu, Chiral nearfield generation from a chiral surface relief fabricated by optical vortex illumination with nano-imprinting technology, *CLEO2017*, サンノゼコンベンションセンター, (カリフォルニア州, アメリカ), 2017 年 5 月 16 日

D. Sakai, K. Nakabayashi, and K. Harada, Surface Relief Formation of Hologram in Soda-lime Silicate Glass Transferred by Corona Discharge, *OPTICS & PHOTONICS International Congress 2017 (Information Photonics 2017)*, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市), 2017 年 4 月 21 日

増田圭吾、中野翔梧、Guzhaliayi Juman、酒井大輔、原田建治、宮本克彦、尾松孝茂、キラル表面レリーフに誘起した近接場による物質移動、応用物理学会、パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)、2017 年 3 月 14 日

中林滉平、酒井大輔、原田建治、コロナ放電によりガラスに記録したホログラムの湿式エッチングによる増強、第 52 回応用物理学会北海道支部/第 13 回日本光学会北海道支部合同学術講演会、北見工業大学(北海道北見市)、2017 年 1 月 7 日

D. Sakai, M. Abe, K. Harada, T. Omatsu, I. Yoshida, T. Nishiura, T. Takemori, J. Nishii, and H. Shibata, Fabrication of Microstructure on Soda-lime Silicate Glass Using Corona Discharge, *The Sixth*

Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2016), Sapporo convention center (北海道札幌市), 2016年12月19日

G. Juman, I. Yoshida, K. Masuda, S. Nakano, D. Sakai, K. Harada, M. Katsuhiko, T. Omatsu, Imprinted single-armed chiral surface relief on soda-lime silica glass, The 3rd Optical manipulation conference (OMC2016), Pacifico Yokohama (神奈川県横浜市), 2016年5月20日

増田圭吾、Guzhaliayi Juman、吉田一貴、中野翔吾、酒井大輔、原田建治、宮本克彦、尾松孝茂、コロナ放電による光渦誘起表面レリーフのガラス転写、第63回応用物理学会春季学術講演会、東工大岡山キャンパス(東京都目黒区)、2016年3月19日

酒井大輔、原田建治、原悠一郎、西井準治、コロナ放電により選択的に堆積されるSiO₂の特性、第76回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)、2015年9月13日

〔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
掲載なし

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

酒井 大輔 (SAKAI, Daisuke)
北見工業大学・工学部・助教
研究者番号：10534232