

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24560811

研究課題名(和文) コロナ帯電を用いた汎用ガラスへのホログラム記録技術の確立とその応用

研究課題名(英文) Application of holographic recording technology to general glass substrate with corona charging

研究代表者

原田 建治 (Kenji, Harada)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30312820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000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(ソーダライムガラスを想定)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ガラスホログラムの作製技術の確立を目指した。4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、最終目標数値である260nmの凹凸を有するガラスホログラムの作製に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, establishment and application of holographic recording technology to general glass substrate (soda lime glass) using visible laser beam is considered with corona charging technique. Through four year's research, we established to optimize the corona charging temperature and corona charging time. We succeeded in the production of glass hologram with a 260nm relief depth, which is the final numerical target of our research.

研究分野：情報フォトンクス

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注目されてきた。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った。

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、耐環境性に優れた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) ガラス表面への凹凸形成メカニズムの解明
- (2) 高精度・高回折効率のガラスホログラムの作製
- (3) 高透明セキユ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、共に研究を進めていく。

4. 研究成果

ソーダライムガラスにアゾベンゼン高分子材料をコート後、周期 2 $\mu$ m の回折格子を光記録した。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、回折格子の増強を行った。選択堆積用コロナ帯電装置の模式図を図1に、選択堆積用コロナ放電の条件を表1に示す。

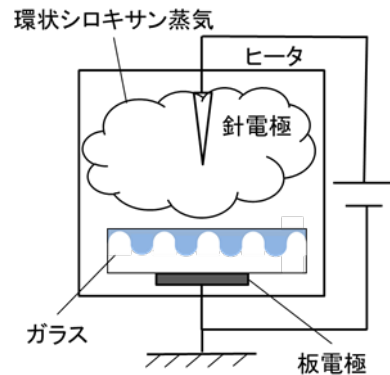


図1 選択堆積用コロナ放電装置

表1 選択堆積用コロナ放電条件

加熱温度	200
電極間距離	10mm
印加電圧	+6kV
雰囲気	大気と環状シロキサン
放電時間	10~80min

環状シロキサンの揮発にはニトフロンテープ(日東電工、903UL)を用いた。ニトフロンテープは、テフロン樹脂製のテープであり、粘着面には沸点 180 程度の環状シロキサンが用いられている。したがって、200 程度に加熱することで、テープを溶解せずに環状シロキサン蒸気を得ることが出来る。装置内の温度を 200 に保つため、60 分間加熱して、環状シロキサン蒸気を満たした後、コロナ放電を開始した。放電時間は 10~80 分間を 10 分きざみで設定してそれぞれ別のサンプルで放電を行った。実験の結果、選択堆積用コロナ放電処理後の表面レリーフ深度を図2に示す。処理時間により表面レリーフ深度は異なり、処理時間 60 分で最も増強した。表面の AFM 像の一例を図3に示す。最適な条件下においては、最大 260nm の凹凸を有するホログラムを作製することができた。

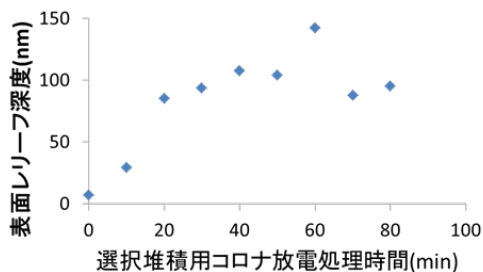


図2 選択堆積後の表面レリーフ深度

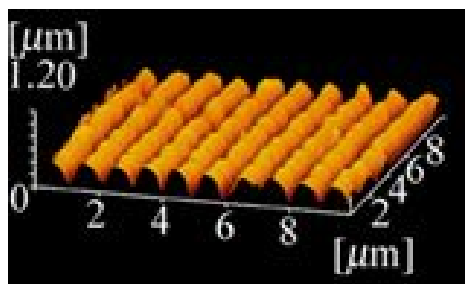
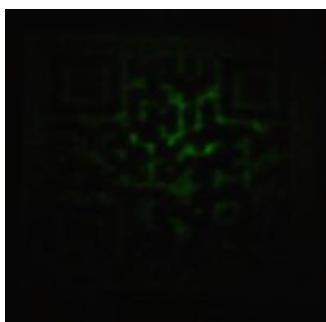
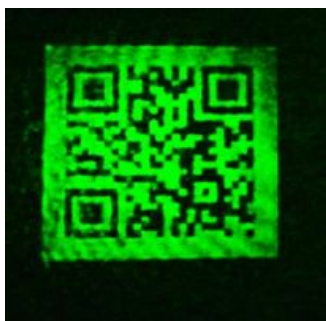


図3 AFMでの観察例

次に、ガラス上に様々なホログラムを選択堆積用コロナ放電により形成し、低い回折効率のため観察できなかったホログラムの可視化をおこなった。ソーダライムガラスへの転写を通し、フーリエ変換ホログラム及びフレネルホログラムをガラス上に形成する実験を行った。その結果、選択堆積によりガラス上に直接観察することができるホログラムの作製に成功した。図4にQRコードを記録したフーリエ変換ホログラムの選択堆積処理前後の再生像を示す。



(a) 選択堆積処理前



(b) 選択堆積処理後

図4 フーリエ変換ホログラム

選択堆積処理前は回折効率が低いためバーコードリーダーで読み取ることができなかったが、選択堆積処理により、読み取ることができるようになった。図5にフレネルホログラムの選択堆積処理前後の再生像を示す。記録物体として100円硬貨を用いた。以上のように、ガラス上に高効率なホログラムの作製に成功した。

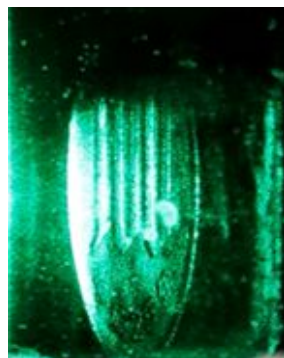


図5 フレネルホログラム

## 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7件)

K. Kawaguchi, T. Suzuki, H. Ikeda, D. Sakai, S. Funatsu, K. Uraji, K. Yamamoto, K. Harada, and J. Nishii, "Alkali ion migration between stacked glass plates by corona discharge treatment", Applied Surface Science, 338 (2015) 120-125. (査読有) (DOI:10.1016/j.apsusc.2015.02.113)

K. Kawaguchi, H. Ikeda, D. Sakai, S. Funatsu, K. Uraji, K. Yamamoto, T. Suzuki, K. Harada, and J. Nishii, "Accelerated formation of sodium depletion layer on soda lime glass surface by corona discharge treatment in hydrogen atmosphere", Applied Surface Science, 300 (2014) 149-153. (査読有) (DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.02.024)

D. Kobayashi, Y. Yamamoto, K. Yamamoto, S. Funatsu, K. Harada, and J. Nishii, "Mechanism of hologram formation on glass surface by recording technique with corona discharge", Journal of Surface Analysis 20 (2014) 226-229. (査読有) ([http://www.sasj.jp/JSA/CONTENTS/vol.20\\_3/Vol.20%20No.3/16\\_Paper\\_Kobayashi.pdf](http://www.sasj.jp/JSA/CONTENTS/vol.20_3/Vol.20%20No.3/16_Paper_Kobayashi.pdf))

D. Sakai, T. Fukuda, and K. Harada, "New Method of Increasing Diffraction

Efficiency of Grating Transferred in Glass Substrate by Corona-Charging Treatment”, Optical Review 20 (2013) 504-508. (査読有)  
(<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10043-013-0086-2>)

H. Ikeda, D. Sakai, S. Funatsu, K. Yamamoto, T. Suzuki, K. Harada, and J. Nishii, “Generation of Alkali-free and High-proton Concentration Layer in a Soda Lime Glass Using Non-contact Corona Discharge”, Journal of Applied Physics 114 (2013) 063303. (査読有)  
(DOI: 10.1063/1.4817760)

N. Ikutame, K. Kawaguchi, H. Ikeda, D. Sakai, K. Harada, S. Funatsu, and J. Nishii, “Low-temperature fabrication of fine structures on glass using electrical nanoimprint and chemical etching”, Journal of Applied Physics 114 (2013) 083514. (査読有)  
(DOI:10.1063/1.4819321)

D. Sakai, K. Harada, D. Barada, and T. Fukuda, “Chemical etching using KOH aqueous solution for corona-charge micropatterning of soda-lime glass”, Japanese Journal of Applied Physics 52 (2013) 036701.(査読有)  
(DOI:10.1007/s10043-015-0095-4)

〔学会発表〕(計5件)

K. Harada, D. Sakai and J. Nishii, Hologram recording in glass substrates via corona charging, OIE'15, Joensuu (Finland), 2015年9月1日

酒井大輔、神成邦弘、氏家健太郎、原田建治、原悠一郎、池田弘、西井準治、コロナ放電選択堆積によるガラスホログラム、応用物理学会、東海大学(神奈川県平塚市)、2015年3月11日

D. Sakai, K. Harada, and J. Nishii, Visualizing Method of Index Modulated Hologram in Glass Using Corona Discharge, International Workshop on Holography and Related Technologies 2013, Kitami Institute of Technology (北海道北見市), 2013年10月15日

D. Sakai, H. Ikeda, K. Harada, Y. Hara, K. Yamamoto, Y. Yamamoto, and J. Nishii, Selective Chemical

Vapor Deposition for Electrically Pretreated Glass, The Tenth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering, Utsunomiya University (栃木県宇都宮市), 2013年9月2日

K. Harada, Hologram Recording in Soda-Lime Glass Substrates Using Corona Charging Treatment, International Workshop on Holography and related technologies (IWH2012), 台北(台湾), 2012年11月12日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計2件)

名称: ガラス基板の処理方法  
発明者: 鈴木俊夫、安部朋美、秋葉周作、船津志郎、裏地啓一郎、西井準治、原田建治、池田弘、酒井大輔  
権利者: 旭硝子株式会社<ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED>  
種類: 特許  
番号: 特開 2015-044721  
出願年月日: 2013年8月29日  
国内外の別: 国内

名称: ガラス構造体の製造方法およびガラス構造体  
発明者: 船津志郎、裏地啓一郎、秋葉周作、鈴木俊夫、山本清、若月博、西井準治、原田建治、池田弘、酒井大輔  
権利者: 旭硝子株式会社<ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED>  
種類: 特許  
番号: 特開 2014-201456  
出願年月日: 2013年4月2日  
国内外の別: 国内

取得状況(計1件)

名称: 情報記録媒体及びその作製方法  
発明者: 原田建治、酒井大輔、亀丸俊一、茨田大輔、福田隆史  
権利者: 国立大学法人北見工業大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所  
種類: 特許  
番号: 第 5130432 号  
取得年月日: 2012年11月16日  
国内外の別: 国内

〔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・准教授  
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