

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 28 日現在

機関番号：82718
 研究種目：基盤（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560131
 研究課題名（和文） CW レーザー誘起ナノトレンチ構造の“かたち”機能を用いた表面改質
 研究課題名（英文） Surface modification by nano structure self-organized using laser irradiation
 研究代表者
 金子 智（KANEKO SATORU）
 神奈川県産業技術センター
 研究者番号：40426359

研究成果の概要（和文）：CW レーザーによる簡易なナノ周期構造作製技術を確認し、ナノ構造組織化の過程の解明を行った。スキャン速度は毎分 300m と高速な加工が可能であり、周期構造による構造色の観察、撥水性の変化等を確認した。

研究成果の概要（英文）：Establishment of new method to self-organize nano-structure by using scanning CW laser, and evaluation of process to grow the nano-structure. High though-put can be possible with high scanning speed of 300 m/min. Structural function, such as structural color and water-repellent, were verified on the nano-structure.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2010 年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2011 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2012 年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,800,000 | 840,000 | 3,640,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、加工学

キーワード：ナノ・マイクロ加工

1. 研究開始当初の背景

フェムト秒レーザーを用いたナノ構造の自己成長報告は多数あったが、その構造は周期構造と言えるものでなく、繊維状の構造物であった。

本研究は、シリコンのレーザーアニール中に偶然に発見したナノ周期構造が発端であり、その構造はフェムト秒レーザーによる繊維状構造とは全く異なるトレンチ構造である。

2. 研究の目的

1 度のレーザーによる、材料表面にナノ周期構造を短時間に自己組織化させる“高速スキャンレーザー誘起ナノトレンチ構造”の作製技術の確立と、その発現機構の解明を目的とする。

3. 研究の方法

可視光と近赤外線との 2 つのレーザーを用いているが、その強度比により周期構造の制御を試みる。また、本手法はフェムト秒レーザーの非平衡過程とは異なり、熱緩和時間 (10^{-12} 秒) より長い照射による熱的平衡過程も深く

関わる。そこで、有限要素法により、レーザー照射による母材の時間依存熱分布を三次元で考察する

4. 研究成果

2つのレーザー強度比を変化させることで、成長するナノ構造の周期制御が可能になった。図1上には、可視光レーザーの強度に依存するナノ構造の周期を示した。可視光レーザーの強度により、可視光(500 nm)と近赤外線(800 nm)の範囲で、ナノ構造周期が変化していることが分かる。なお、赤外線強度を一定である。図1下には、レーザー強度によるナノ構造の高さの変化を示している。

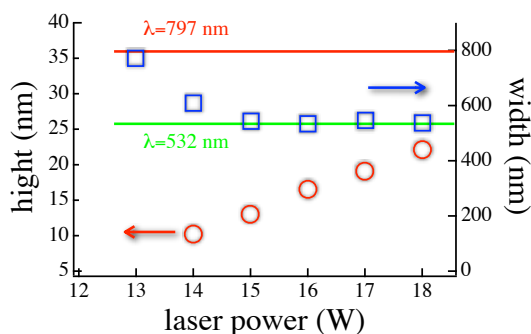


図1 ナノ構造のレーザー強度依存性

本手法は、細かい光軸合わせを不要とする簡便な試料ステージのみでナノ周期構造の成長を可能にするものである。例として、パーソナルコンピュータ(PC)の冷却ファンに試料を載せて回すだけの機構での照射実験を行った。図2に示す写真が同心円状に照射した試料からの構造色である。PCの冷却ファンを使っただけの試料ホルダーであっても、構造色が観察出来るナノ構造周期が成長している。この写真はイギリス物理学会

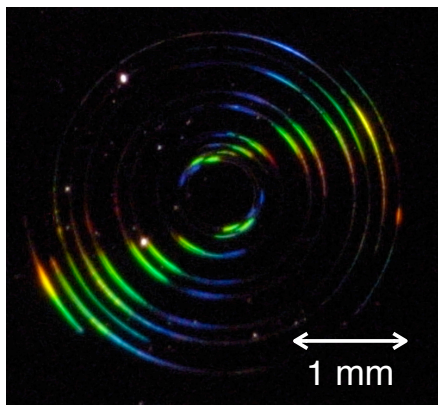


図2 PC冷却ファンを試料ホルダーにした例

(IOP)発行の雑誌「Nanotechnology」の表紙にも採用されている。

本手法では熱緩和時間(10^{-12} 秒)より長い照射による熱的平衡過程を経ると考える。そこで、有限要素法を用いてレーザー照射による母材の時間依存熱分布を三次元で考察した。有限要素法には3次元のソルバーであるfreeFEM3D(<http://www.freefem.org/ff3d/>)を、Intel Xeonの8コアでコンパイルして用いた。図3にはシリコン基板表面にレーザー照射した時の温度分布を断面で示してある。時間依存温度分布と実験によるナノ構造成長サイズを比較することで、ナノ周期構造の成長にはある一定の溶融時間が必要であることが分かった。

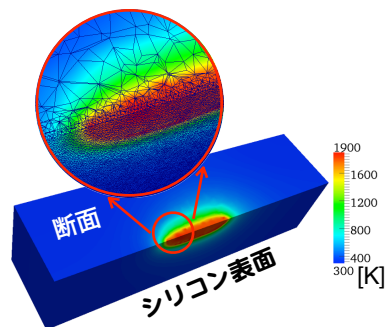


図3 有限要素法による温度分布の評価

YAGレーザーの4倍波(紫外線)を用いた照射実験では、低エネルギー密度($1\text{J}/\text{cm}^2$)でも周期構造が成長することを確認している。

本研究の成果として、新聞一面のカラー写真で紹介されるなど、注目された技術であった。国際会議発表5件と国内発表5件を行い、うち2件が招待講演であった。特許申請も企業と共同出願をしている。

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5件)

“Functional surface on periodical nanostructure self-organised by laser scanning at speed of 300 m/min”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Chihiro Kato, Satomi Tanaka, Yousuke Ono, Tokuo Yodo, Hiroyasu Nakata, Akira Matsuno, Takashi Nire, Akifumi Matsuda and Mamoru Yoshimoto Optics and Laser and Engineering 51 294 – 298 (2013)

“Periodic nano trench structure fabricated by high speed scanning CW laser”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Manabu Yasui, Chihiro Kato, Satomi Tanaka, Takeshi Ozawa, Yasuo Hirabayashi, Akira Matsuno, Takashi

Nire and Mamoru Yoshimoto
Laser Applications in Microelectronics
and Optoelectronic Manufacturing (LAMIN)
XVI 8243 82430U-1-7 (2012)

“Nano Strip Grating Line Self-Organized
by High Speed Scanning CW Laser”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Kensuke
Akiyama, Satomi Tanaka, Chihiro Kato,
Hiroshi Funakubo and Mamoru Yoshimoto
Nanotechnology 22 175307-1-6 (2011)

“Effect of CW Laser Annealing on Silicon
Surface for Application of Power Device”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Kensuke
Akiyama, Manabu Yasui, Chihiro Kato,
Satomi Tanaka, Yasuo Hirabayashi, Takeshi
Ozawa, Akira Matsuno, Takashi Nire,
Hiroshi Funakubo and Mamoru Yoshimoto
World Academy of Science, Engineering and
Technology 74 1150-1152 (2011)

“Effect of Surface on Silicon Substrate
Irradiated by Infrared and Ultraviolet CW
Lasers”

Satoru Kaneko, Kensuke Akiyama, Takeshi
Ito, Manabu Yasui, Yu Motoizumi, Satomi
Tanaka, Chihiro Kato, Yasuo Hirabayashi,
Takeshi Ozawa, Akira Matsuno, Takashi Nire
and Mamoru Yoshimoto
IEEJ Transacton OQD-11-007-1-4 (2011)

[学会発表] (計 7 件)

“Effect of CW Laser Annealing on Silicon
Surface for Application of Power Device”

[oral] Satoru Kaneko, Takeshi Ito,
Kensuke Akiyama, Manabu Yasui, Chihiro
Kato, Satomi Tanaka, Yasuo Hirabayashi,
Takeshi Ozawa, Akira Matsuno, Takashi Nire,
Hiroshi Funakubo and Mamoru Yoshimoto
International Conference on Nanotechnology,
Optoelectronics and Photonics (ICNOP2011)
Feb. 22-24(24), 2011,
Penang, Malaysia

“Periodic nano trench structure
fabricated by high speed scanning CW
laser”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Chihiro Kato,
Satomi Tanaka, Akira Matsno, Takashi Nire
and Mamoru Yoshimoto
SPIE, Photonics West 2012 Jan. 21 - 26 (25),
2012
Moscone Center, San Francisco, CA, U.S.A.

“Periodical nanostructure grown on trace

of CW laser scanning at high speed of 300
m/min.”

S. Kaneko, T. Ito, M. Yasui, T. Ozawa, Y.
Hirabayashi, S. Tanaka, C. Kato, A.
Matsuno, T. Nire, H. Nakata, T. Yodo, A.
Matsuda, M. Yoshimoto

XI International Conference on
Nanostructured Materials (NANO2012)
Aug. 26 - 31 (27), 2012
Rhodos Convention Center, Rhodos, Greece

“Development of laser annealing system:
self-organised nanostructure”

Satoru Kaneko
Toyama International Nanotechnology
Symposium
Aug. 31, 2012,
Toyama Convention Center, Toyama, Japan

“Structural Function on Nanostructure
Self-Organized on Amorphous Si Layer by
High Speed Scanning of CW Lasers”

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Manabu Yasui,
Takeshi Ozawa, Yasuo Hirabayashi, Satomi
Tanaka, Chihiro Kato, Akira Matsuno,
Takashi Nire, Hiroyasu Nakata, Tokuo Yodo,
Akifumi Matsuda, Mamoru Yoshimoto
The 73rd Fall Meeting, 2012, The Japan
Society of Applied Physics
Sep.12 2012,
Ehime University, Matsuyama, Ehime, Japan

“Self-organized Periodic Nanostructure
by CW laser with scanning speed of 300
m/min.” [31a-B-8]

Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Satomi Tanaka,
Chihiro Kato Akira Matsuno, Takashi Nire
and Mamoru Yoshimoto
The 72th Fall Meeting, 2010, The Japan
Society of Applied Physics
Aug 29 - Sep. 2 (Aug. 31), 2011,
University of Yamagata, Yamagata, Japan

“Effect of Surface on Silicon Substrate
Irradiated by Infrared and Ultraviolet CW
Lasers”

Satoru Kaneko, Kensuke Akiyama, Takeshi
Ito, Manabu Yasui, Yu Motoizumi, Satomi
Tanaka, Chi- hiro Kato, Yasuo Hirabayashi,
Takeshi Ozawa, Akira Matsuno, Takashi Nire
and Mamoru Yoshimoto
IEEJ Workshop Mar. 5, 2011,
Toyama, Toyama, Japan

[図書] (計 4 件)

一枚の写真 レーザーによる高速表面ナノ

加工を利用した「かたちによる着色」
金子智、吉本護
月刊誌 0 plus E (Advanced Communication
Media CO.,LTD)
2011 年 7 月号

CW レーザーの高速スキャン照射による微細
ナノ構造の自己成長 金子智、吉本護
光アライアンス 日本工業出版
2012 年 2 月号

2 波長 CW レーザスキャンによるナノ周期構造
の形成 ～表面新機能を発現させる高速プロ
セス～
金子智、松野明、吉本護
レーザ加工学会誌
2012 年 9 月号

レーザアニール装置開発から PLD 法による製
膜まで
金子智、岸本幸宏
レーザ協会誌
2012 年 9 月号

〔産業財産権〕
○出願状況 (計 1 件)

名称：周期構造およびその形成方法
発明者：金子智、伊藤健、秋山賢輔、田中聡
美、加藤千尋、平林康男、松野明、楡孝
権利者：
種類：特許出願
番号：2011-202149
出願年月日：2011 年 9 月 15 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等

新聞掲載
2011 年 4 月 27 日付け 日刊工業新聞一面に掲
載 “高速アニールレーザーによるナノ微細加
工技術”

招待/依頼講演等

“2 波長 CW レーザを用いた表面ナノ加工プ
ロセスの開発”
エレクトロニクス製品を進化させる光プロ
セス最新動向 多元技術融合光プロセス研究
会・(財) 光産業技術振興協会
平成 22 年 10 月 20 日
(東京都・産業技術総合研究所)

“Periodic nanostructure self-organized
on trace of CW laser scanning line on

silicon substrate”
Satoru Kaneko
IUMRS-ICEM2012
Sep. 24 - 28 (25), 2012, Yokohama

“高速レーザースキャン法によるナノ周期
構造の成長”
表面技術協会関東支部・エレクトロニクス・
表面技術フォーラム
平成 23 年 12 月 9 日 (神奈川県)

6. 研究組織
(1) 研究代表者
金子 智 (KANEKO SATORU)

研究者番号：40426359

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
吉本 護 (YOSHIMOTO MAMORU)

研究者番号：20174998