

令和元年6月14日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13636

研究課題名(和文)単原子層ステップを持つ有機系ナノパターン基板の作製と新規ナノ構造の創製

研究課題名(英文) Fabrication of nano-patterned organic polymer substrates with atomic steps for creation of functional nanostructures

研究代表者

吉本 護 (Yoshimoto, Mamoru)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：20174998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：高耐熱性ポリイミドなどのフレキシブルポリマー基板上に単原子層レベル(約0.3nm)高さの原子ステップ構造を熱ナノインプリントにより形成して、シリコン単結晶並みの超平坦な有機系基板を独自に作製し、その基板上での特異な無機系や金属系のナノ構造の構築を目的として研究を行った。ポリマー基板上に種々のナノ構造を構築するために、パルスレーザー堆積法とナノコンタクトプリント転写法を併用した。ナノピラー配列およびナノホール配列したモールド面に金やZnOの極薄膜を堆積し、それを原子ステップ型超平坦ポリマー基板上に押しつけて極薄膜をプリント転写し、ナノメッシュ状やナノドット状の配列パターンを得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの量子機能電子デバイスやナノ構造を制御した光電子機能薄膜の構築にはシリコンやサファイアなどの無機系基板が広く用いられてきたが、本研究成果により、独自に作製された超平坦ポリマー基板は、次世代超機能フレキシブル電子デバイス用基板として極めて有望であることが実証された。また、高分子科学の観点からみて注目すべき点は、高分子材料のようにミクロンオーダーの巨大分子鎖が複雑に絡み合う表面においても、モノマー分子サイズ(約0.5 nm)よりも小さな原子スケール(約0.3nm)の段差パターンが転写されたことである。

研究成果の概要(英文)：In this study, the thermal nanoimprinting process, which is one of the most promising techniques for simple, low-cost, and high-throughput nanopatterning, was applied for fabrication of flexible atomically nano-patterned polymer substrates with ultra-smooth surface and also for creation of functional nanostructures on the polymer substrates. As a result, the ultra-smooth 0.3-nm-high atomic step-and-terrace surface was developed on the polyimides and poly(methyl methacrylate) (PMMA) sheets. We performed the nanoscale scratch on the atomically smooth polyimide surface and could write a letter "T" by AFM-probe scanning. Furthermore, large area Au nanoparticle arrays of dots or meshes were produced onto 0.3-nm-high stepped PMMA sheets by applying a nanocontact-printing technique using Au-film-coated pillar or mesh molds.

研究分野：機能材料科学

キーワード：ナノインプリント フレキシブル基板 PMMA ポリイミド ナノパターン 原子ステップ ナノドット  
ナノコンタクト転写

# 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

従来の量子機能電子デバイスの作製やナノ構造を制御した光電子機能薄膜の構築には、シリコンやサファイア(単結晶アルミナ)などの無機系単結晶基板や酸化ガラス基板が広く用いられてきた。これは熱安定性に加えて、表面平坦性の制御が容易であり、単原子層レベルの原子ステップを持つ超平坦基板が、1000℃程度の高温アニールで自己組織化現象に起因して得られ易いことも一因となっている。図1は、原子ステップを有するSi(111)単結晶基板表面の原子間力顕微鏡(AFM)像である<sup>1)</sup>。図2は、市販の鏡面研磨サファイア(0001)単結晶基板を、大気中1000℃で熱処理後の表面AFM像(左)と断面構造模式図(右)である<sup>2)</sup>。サファイア基板の原子ステップ高さは、図2(右)に示すように、(0001)表面構造に起因して約0.2nmとなっており、平坦な原子テラス面の幅は基板のオフ角に依存し、約100nmとなっている。

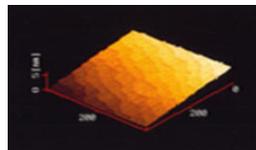


図1 原子ステップ型Si基板表面AFM像

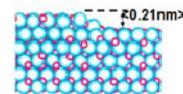
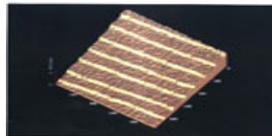


図2 原子ステップ型サファイア基板(左)と断面構造模式図(右)

一方、ここでは電子機器でのフレキシブル基板として実用されているポリイミド基板やアクリルポリマーの一つであるポリメチルメタクリレート(PMMA)基板を中心に、種々の有機ポリマー基板を対象にして、上記のSiやサファイア基板を超えるような超微細電子デバイス用の超平坦有機系ポリマー基板を創製し、それを使った機能性ナノ構造体の構築を検討した。この際、これまでの熱ナノインプリント微細加工による酸化ガラス基板の表面ナノ加工に関する蓄積ノウハウを駆使した。

我々は原子レベルナノパターン鋳型(モールド)を使う型押し成形の一種である熱ナノインプリント手法(図3参照)により、高温で軟化成形しやすい酸化ガラス基板の表面上に、ナノパターン転写する独自の研究を行ってきた(平成17~19年度科研費・基盤B「ガラスへのナノインプリント技術の確立と超機能ガラスの創製」の研究成果)<sup>3-5)</sup>。鋳型はサファイア単結晶基板の原子ステップ配列や薄膜表面のナノ凹凸パターン、および雲母(マイカ)劈開面であった。非晶質特有のナノ表面構造の形成が可能であることを見出した(図4~6参照)。

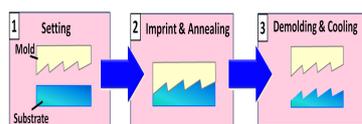


図3 熱ナノインプリント概略図

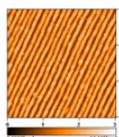


図4 ガラス基板上  
ナノ縞(100nm 間隔)

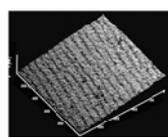


図5 原子ステップ  
型ガラス基板

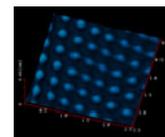


図6 ガラス基板上  
0.5nm 間隔ドット配列

## 2. 研究の目的

(1) Si基板を超える超平坦有機系ポリマー基板の創製: これまで量子機能電子デバイスの作製やナノ構造を制御した光電子機能薄膜の構築には、シリコンやサファイアなどの無機系単結晶基板や酸化ガラス基板が広く用いられてきた。これは熱安定性に加えて、表面平坦性の制御が容易であり、単原子層レベルの原子ステップを持つ超平坦基板が、1000℃程度の高温アニールで得られることも一因となっている。本研究では、電子機器でのフレキシブル基板として実用されているポリイミド基板を中心に、Si基板を超える超平坦有機系ポリマー基板の創製をめざした。

(2) ポリマー基板上でのナノ構造の構築: 高耐熱ポリイミド樹脂などの有機系ポリマー基板表面上に単原子層(約0.3nm)高さの周期的ステップ構造をインプリント加工して、シリコンやサファイア単結晶並みの超平坦な有機基板を独創的に作製し、その上での特異な半導体や金属のナノ構造の構築と機能創製をめざした。具体的には、①ZnOなどのワイドギャップ酸化半導体薄膜、②金などの金属系薄膜などで、これまで研究例がほとんど無いポリマー基板上でのナノワイヤー、ナノドット、2次元量子薄膜などのナノ構造の構築のための条件を検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 3-1. ポリマー基板への単原子層ステップナノパターン転写と超平坦ポリマー基板の作製

ポリマー基板材料として、市販のポリイミドシート基板、およびアクリル(PMMA)シート基板などを使い、図7に示すようにナノパターン鋳型をポリマー基板上に押し付け、既存の真空対応熱ナノインプリント装置(Scivax社製)にセットし、ポリマーのガラス転移温度(100℃~200℃)付近で加熱しながら、一軸圧縮圧力(<数MPa)を数分間印加した後、冷却・除圧する。

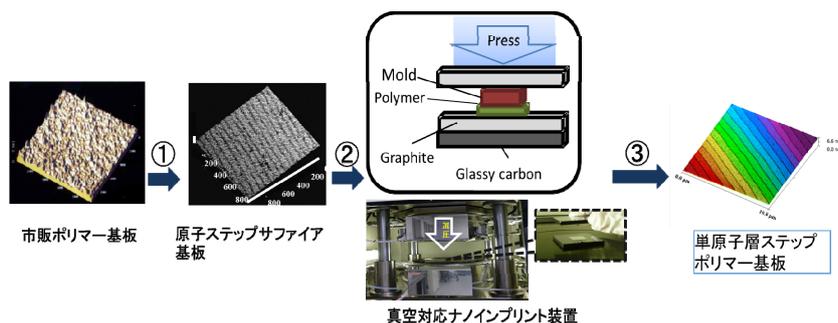


図7 ポリマー基板上への原子レベルパターン転写プロセス

### 3-2. ポリマー基板上でのナノワイヤー、ナノドットなどのナノ構造の構築

本研究では、ポリイミドのような耐熱ポリマー樹脂基板を使って原子レベルでナノインプリント加工された単原子層ステップ超平坦有機系基板を作製し、その上に無機系、および金属系の超薄膜を堆積して、シリコン基板や酸化物単結晶基板上のように、高活性な原子ステップ端を利用した耐熱ポリマー基板上でのナノ構造構築を行う。ナノワイヤーやナノドット、およびグラフェンのような 2 次元超薄膜の構築を行うことで、フレキシブルポリマー基板上での新規な光電子機能性薄膜の創製をめざす。

ポリマー基板上へのナノ材料構築プロセスの一つとしては、気相法であるパルスレーザー堆積法 (PLD) により、図 8 に示す PLD 装置を使い、酸化物や金属材料を原料ターゲットとして、室温 (20°C) ~ 200°C 付近でナノパターンポリマー基板上に極薄膜を堆積する。

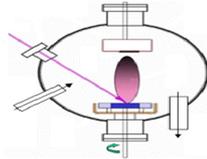


図 8 PLD 気相成膜法

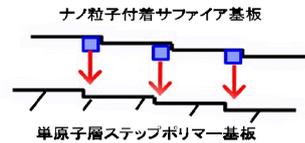


図 9 ナノコンタクト転写法 (はく離型プリント)

一方、ナノインプリント法を利用した図 9 に示すようなコンタクト転写法も利用した。金などの金属系ナノ構造体を表面に堆積させたナノパターンモールドを、ナノインプリント装置で原子層ステップ型ポリマー基板上に加熱しながら押しつけて、金属ナノ構造体のみをモールド表面からはく離して、柔軟なポリマー基板上に埋め込み転写する。

## 4. 研究成果

### 4-1. ポリマー基板上への単原子層ステップパターン転写と超平坦ポリマー基板の作製

非晶質材料は、結晶のような長距離秩序および規則的な原子配列を持たず、特にガラス質のものは粘度が温度に対して連続的に変化する特徴がある。これらはガラス転移現象を示し、ガラス転移温度 (T<sub>g</sub>) 以上で粘度が急速に減少し、原子拡散による粘性流動がみられるようになる。ここでは、高分子ポリマーなどの非晶質材料がもつ熱可塑性を利用し、原子と同程度のサイズパターン、即ち 1 nm 以下の原子レベルの熱ナノインプリント転写が検討された。

原子レベルの転写加工を試みる非晶質ポリマーシートとしては、透明アクリル樹脂として多用されているポリメチルメタクリル樹脂 (PMMA, T<sub>g</sub> ~ 105°C) の他に、200°C 以上の耐熱性を有するポリイミド (T<sub>g</sub> ~ 265°C)、および非常に耐水性が高く光学用精密プラスチック部品として使用されている脂環構造のシクロオレフィンポリマー (COP, T<sub>g</sub> ~ 100°C) などである。

図 10(a) に示したモノマー分子構造を有する PMMA ポリマーシート (三菱ケミカル (株) 製)、および約 0.34 nm 高さの原子ステップを有するサファイア (r 面) モールドを、それぞれ 80°C および 140°C に加熱し、0.2 MPa で真空中、5 分間ナノインプリント加工が行われた。この際、モールド表面には離型剤などは一切塗布せずに行われた。図 10(b) に示したナノインプリント後の PMMA 表面形状の AFM 像および断面高さプロファイルでは、転写された原子ステップが明瞭に観察された。使用したサファイアモールドにおける高さ約 0.34 nm の原子ステップに対して、PMMA 上への転写後の原子ステップ高さは約 0.26 nm になって、わずかに減少していた。これは熱ナノインプリント加工での加熱・冷却に伴う PMMA の膨張・収縮、あるいはステップ端近傍で導入された応力による PMMA 分子鎖の粘弾性的な緩和が関係していると考えられる。

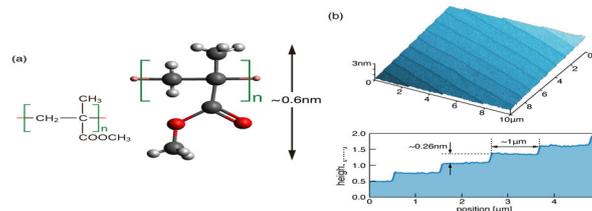


図 10 (a) アクリルポリマー (PMMA) のモノマー分子構造図、(b) 原子ステップサファイア (r 面) モールドを用いてナノインプリントした PMMA シートの表面 AFM 像 (10 × 10 μm<sup>2</sup>) (上図) と断面高さプロファイル (下図)。

次に、200°C 以上の耐熱性を持つポリイミドシート (三井化学 (株) 製) 表面上に約 0.34 nm 高さの周期的ステップ構造をナノインプリント転写して、シリコンやサファイア単結晶並みの原子レベルで超平坦な電子デバイス堆積用フレキシブル有機基板の作製が試行された。約 0.34 nm 高さの原子ステップを有するサファイア (r 面) モールドを用い、240°C ~ 280°C の温度範囲で、0.2 MPa、5 分間の加圧でナノインプリントされた。図 11 には種々の温度でナノインプリント加工した後のポリイミドシートの表面 AFM 像を示す。T<sub>g</sub> 付近の温度 (260°C) でのナノインプリント加工後には明瞭な原子ステップ形状が観察された。

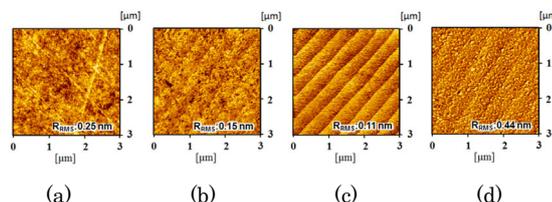


図 11 ポリイミドシートの表面 AFM 像 (3 × 3 μm<sup>2</sup>) ; (a) ナノインプリント加工前、(b) 240°C 加工、(c) 260°C 加工、(d) 280°C 加工。(RRMS : 二乗平均粗さ)

260°Cでナノインプリント加工して明瞭に原子ステップが転写されたポリイミドシートの表面 AFM 像の断面プロファイルから、約 0.3nm 高さの原子ステップと原子レベルで平坦なテラス面の形成が確認できた。この他に、光学部品として汎用されているシクロオレフィンポリマー (COP, 日本ゼオン製) などの表面においても、同様な原子レベルの転写結果が得られた。

一方、得られた原子ステップ型ポリイミドシートの超平坦なテラス表面上での AFM 探針を使った原子レベル描画結果を述べる。AFM 観察用の Si 製カンチレバー (探針、バネ定数; 40 N/m) をテラス面に押しつけてひっかきながら、原子レベルの文字が書けるかどうかを検討した。その結果を、図 12 に示す。原子ステップ型ポリイミドシート上に原子サイズの文字「T」が明瞭に描画されているのがわかる。

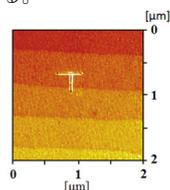


図 12 原子ステップ型ポリイミド上に AFM 探針で描かれた文字「T」の AFM 像 (2x2 μm<sup>2</sup>)

以上述べてきたナノインプリント加工結果で注目すべきは、高分子材料のようにミクロンオーダーの巨大分子鎖が複雑に絡み合う表面においても、モノマー分子サイズ(約 0.5 nm)よりも小さな原子スケール(約 0.3nm)の段差パターンが転写されたことである。さらに、PMMA やポリイミドシート上の原子ステップ形状は、大気中常温において 1 年以上放置してもその形状は変化せず、非常に安定しており、ステップ構造の耐久性が高いといえる。原子ステップ型ポリマー基板上の原子ステップ付近での高分子鎖の絡み合い構造がどのようになっているのかは高分子科学の観点からも興味ある課題である。ポリマー分子鎖の結合・回転や分子鎖の絡み度合いの動的変化などが、原子レベル熱ナノインプリント転写にどのような影響を与えるかについて、計算科学的アプローチも併用しながら、今後より詳細な検討が必要と思われる。

#### 4-2. 原子ステップ型超平坦ポリマー基板上的のナノドットなどの機能性ナノ構造体の構築

原子レベルでナノパターン加工されたポリイミドのような耐熱ポリマーの超平坦有機系基板の上に、種々の無機系や金属系のナノ構造体を堆積して、フレキシブルポリマー基板上的の新規な光電子機能性薄膜の作製を検討した。

熱ナノインプリント装置を用いた熱ナノインプリント法とナノコンタクトプリント転写法を組み合わせた、2つのプロセスフローにより、超平坦基板への極薄かつ高い位置制御を実現したナノスケールの金パターンの作製を検討した。この際、ナノピラー形状およびナノホール形状の 2 種類の市販 Si 製マスターモールドを利用した。

図 13 には、本研究で使った (a) ナノピラー形状 (パターン径; 230 nm、パターン高さ; 200 nm、パターンピッチ; 460 nm) および (b) ナノホール形状 (パターン径; 230 nm、パターン深さ; 200 nm、パターンピッチ; 460 nm) の Si 製マスターモールド (Scivax 社製) の表面 AFM 像を示す。

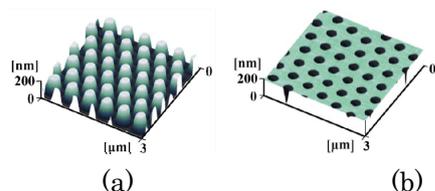


図 13 Si 製のマスターモールド (a) ピラー形状、(b) ホール形状の表面 AFM 像

表 1 金ナノ粒子パターン転写時のコンタクト条件

スタンプ nCP条件	ホール形状	ピラー形状
加圧温度	80-110°C	80-110°C
加圧圧力	2 MPa	0.4-2 MPa
保持時間	300 sec	300 sec
雰囲気	in air	in air
除圧温度	30°C	30°C

図 13 に示す Si 製マスターモールドからポリイミド製のレプリカモールドをナノインプリント法により作製し、その上に金ナノ薄膜をスパッタ法により堆積した後、その金ナノ薄膜付きスタンプを、表 1 の条件で原子ステップ型超平坦 PMMA 基板上にコンタクト転写した。

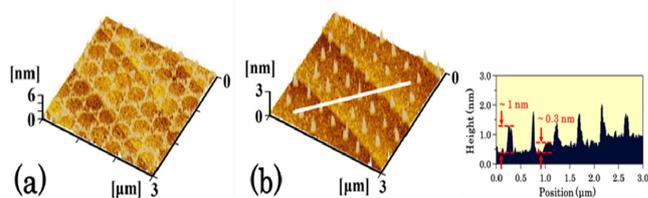


図 14 (a) 金ナノメッシュパターン、(b) 金ナノドットパターン転写後の PMMA 基板の表面 AFM 像 (左) と高さプロファイル (右)

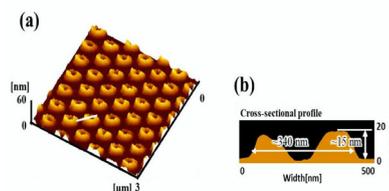


図 15 ZnO ナノドット配列を転写した AFM 像(a)および高さプロファイル(b)

図 14 には、原子ステップ型超平坦 PMMA 基板表面に金ナノメッシュパターン(a)、および金ナノドットパターン(b)の転写を行った後の PMMA 基板の表面 AFM 像を示す。図 14(a)より、スタンプ形状を反映した約 1 nm 厚の金ナノメッシュパターンが確認された。また図 14(b)より、約 1 nm 厚、100 nm 径の金ドットパターンが原子ステップ PMMA 基

板表面に転写されていることがわかり、その高さプロファイルより、約1 nmのドット形状とともに、基板に約0.3 nm高さの原子ステップが維持されていることが明瞭に確認できた。同様な金ナノ構造体の構築が、原子ステップ型超平坦ポリイミド基板においても成功した。

一方、n型ワイドギャップ半導体であるZnO極薄膜をポリイミドレプリカモールド上に堆積したものをを用いて、ポリイミド基板にZnOナノドットパターンを転写した。図15に得られたAFM像を示す。ポリイミド基板にドーナツ状のパターンがスタンプのピラーのピッチ約460nmに対応して周期的に形成された。パターンの高さは、約15nm、直径：約340nmとなり、ZnO堆積後のスタンプのピラーの直径とおよそ一致した。このことから、ZnOがポリイミド基板へ転写されたことがわかった。

次に、p型ワイドギャップ半導体であるNiO極薄膜(約4nm厚)を、原子ステップ型ポリイミド基板に200°CでPLD堆積し、原子ステップ端での優先成長によるナノワイヤー構築の可能性を検討した。図16に堆積後の表面AFM像と断面高さプロファイルを示す。注目すべきは原子ステップエッジ部分に盛り上がりが見られることである。高さプロファイルより、約0.31 nmのステップ高さとしてステップエッジ部分に約0.16 nmの盛り上がり確認できる。これらの結果より、基板温度が200°Cと高いことや表面の原子レベルの平坦性により、NiO薄膜前駆体が堆積した際の基板でのマイグレーションが起こりやすくなったためと考えられる。

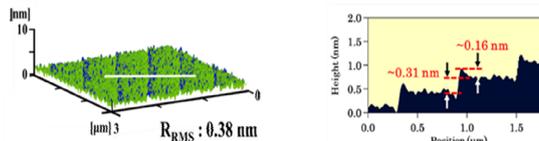


図16 ポリイミド基板上の原子ステップ端でのNiOナノワイヤー構造のAFM像(左)と断面高さプロファイル(右)。

#### <引用文献>

- 1) "Room-Temperature Epitaxial Growth of CeO<sub>2</sub> Thin Films on Si(111) Substrates for Fabrication of Sharp Oxide/Silicon Interface", Jpn. J. Appl. Phys., vol.34 (1995) L688–690., M. Yoshimoto et al.
- 2) "Atomic Scale Formation of Ultra-Smooth Surfaces on Sapphire Substrates for High-Quality Thin Film Fabrication", Appl. Phys. Lett., vol.67 (1995) 2615–2617., M. Yoshimoto et al.
- 3) "Surface modification of silicate glasses by nanoimprint using nanostriped NiO thin film molds", Appl Surf. Sci., vol. 253, No.10, 4512-4514(2007), S. Akiba et al.
- 4) "Atomically Stepped Glass Surface Formed by Nanoimprint", Jpn. J. Appl. Phys., vol.46(15), pp.L342-L344 (2007), Y. Akita et al.
- 5) "Nanostripe Patterning of Glass Surface by Nanoimprint Using Self-organized Oxide Mold", Materials Science and Engineering B, vol.161 (2009) pp.151–154., Y. Akita et al.
- 6) "Evolution of atomically stepped surface of indium tin oxide thin films grown on nanoimprinted glass substrates", Appl. Phys. Express, vol.4 (2011) 035201-1 — 035201-3., Y. Akita et al.
- 7) "Subnano-scale nanoimprint fabrication of atomically stepped glassy substrates of silicate glass and acrylic polymer", Applied Physics A vol.121 (2015) 321–326., M. Yoshimoto
- 8) "Atomic Step Patterning on Quartz Glass via Thermal Nanoimprinting", Jpn. J. Appl. Phys. vol.54 (2015) 098001(1)–(3). O. Suga et al.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7件 : 全て査読有り)

- 1) "Nanocontact printing of Au nanoarray onto atomically stepped ultrasmooth polymer Sheets", Jpn. J. Appl. Phys., vol.55, (2016) pp. 098002-1, -3., Kodai Shimada, Goon Tan, Yasuhisa Nozawa, Tatsuhiro Urakami, Koji Koyama, Satoru Kaneko, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto
- 2) "Atomic step-and-terrace of polyimide sheet for advanced polymer substrate Engineering", Nanotechnology, vol.27, (2016) pp. 295603-1, -3., Goon Tan, Kodai Shimada, Yasuhisa Nozawa, Satoru Kaneko, Tatsuhiro Urakami, Koji Koyama, Motonori Komura, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto
- 3) "Atomic-scale Thermal Behavior of Nano-imprinted 0.3-nm-High Step Patterns on PMMA Polymer Sheets", Polymer Journal, vol.48, (2016) pp. 225-227., Goon Tan, Yasuhisa Nozawa, Tomoyuki Funabasama, Koji Koyama, Masahiro Mita, Satoru Kaneko, Motonori Komura, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto
- 4) "Multigraphene growth on lead-pencil drawn silver halide print paper irradiated by scanning femtosecond laser", Jpn. J. Appl. Phys., vol.55, (2016) pp. 01AE24., Satoru Kaneko, Yoshitada Shimizu, Takeshi Rachi, Chihiro Kato, Satomi Tanaka, Yasuhiro Naganuma, Toru Katakura, Kazuo Satoh, Mikio Ushiyama, Seiji Konuma, Yuko Ito, Hirofumi Takikawa, Goon Tan, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto
- 5) "Temperature-modulated annealing of c-plane sapphire for long-range-ordered atomic steps", J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 49, (2016) pp.115302., Takashi Yatsui, Kazunori Kuribara, Takao Someya, and Mamoru Yoshimoto
- 6) "Layer-by-Layer Growth of Graphene on Insulator in CO<sub>2</sub>-Oxidizing Environment", ACS Omega, vol.2 (4), (2017) pp.1523–1528., Satoru Kaneko, Takeshi Ito, Chihiro Kato, Satomi Tanaka, Shigeo Yasuhara, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto
- 7) "Construction of a lattice constant in an epitaxial magnesium oxide film deposited on a silicon substrate", Jpn. J. Appl. Phys. vol.58, (2019) pp. SAAD06-1–SAAD06-4., Satoru Kaneko, Takashi Tokumasu, Yoshimi Nakamaru, Chiemi Kokubun, Kayoko Konda, Manabu Yasui, Masahito Kurouchi, Musa Can, Shalima Shawuti, Rieko Sudo, Tamio Endo, Shigeo Yasuhara, Akifumi Matsuda, and Mamoru Yoshimoto

[学会発表] (計 16 件)

- 1) 「原子ステップポリマー基板上における機能性薄膜の作製と評価」, 第 77 回 応用物理学会 秋季学術講演 (2016/9/13~9/16、新潟市) (16a-B5-1 / 嶋田・木下・後藤・浦上・小山・三田・金子・松田・吉本)
- 2) 「熱ナノインプリントプロセスを用いた金ナノ粒子埋め込み型原子レベル超平坦ポリマー基板の作製」, 第 77 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2016/9/13~9/16、(新潟市) (14p-A37-3 / 後藤・嶋田・小山・金子・松田・吉本)
- 3) 「熱ナノインプリント法によるポリマーシート上への原子スケール形状転写における雰囲気・表界面状態の影響」, 第 77 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2016/9/13~9/16、朱鷺メッセ (新潟市) (13a-D61-10 / 木下・嶋田・小山・三田・金子・松田・吉本)
- 4) “Nanoimprint Fabrication of 0.3 nm-High Atomically Stepped Conducting Polymer Sheets Coated with ITO Thin Films or Au Nano-Patterns”, MRS 2016 Fall Meeting (2016/11/27-12/2, Boston, USA), (BM7.6.14 / K. Shimada, R. Goto, T. Kinoshita, S. Kaneko, A. Matsuda, and M. Yoshimoto)
- 5) 「熱ナノインプリント作製した金ナノ粒子コート超平坦フレキシブル基板」, 第 64 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2017/3/14 日~3/17、パシフィコ横浜) (15a-423-3 / 後藤・嶋田・金子・松田・吉本)
- 6) 「マイカモールドを用いた熱ナノインプリント法によるポリマー表面上ナノパターン形成」, 第 64 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2017/3/14 日~3/17、パシフィコ横浜), (15p-512-7 / 木下・嶋田・金子・松田・吉本)
- 7) 「熱ナノインプリント法による原子ステップ型超平坦ポリマー基板上への半導体ナノパターンの作製」, 第 78 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2017/9/5~9/8、福岡国際会議場), (5p-S42-9 / 後藤・山田・三宮・金子・松田・吉本)
- 8) 「原子ステップ型ポリマー基板上への自己組織化モールドを用いた周期的ナノ構造の熱ナノインプリント形成」, 第 78 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2017/9/5~9/8、福岡国際会議場), (6a-PA7-1 / 木下・岩佐・金子・松田・吉本)
- 9) 「原子ステップ型ポリマー基板を用いた有機・無機ハイブリッド構造の作製」, 第 78 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2017/9/5~9/8、福岡国際会議場) (5p-PA2-24 / 岩佐・木下・中村・金子・松田・吉本)
- 10) 「熱ナノインプリントによる原子ステップ型フレキシブル基板上導電性薄膜の周期的微細構造作製」, 第 78 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2017/9/5~9/8、福岡国際会議場) (6a-PA7-2 / 山田・後藤・小松・谷山・松田・吉本)
- 11) “Nanoprinted Nanoarrays of Gold Nanoparticles and/or Semiconducting Oxide Nanocrystals on the Originally-Developed 0.3 nm-High Atomically Stepped Ultra-Flat Polymer Sheets”, MRS 2017 Fall Meeting (2017/11/26-12/1, Boston, USA) (NM06.06.15 / M. Yoshimoto, R. Goto, T. Kinoshita, S. Yamada, A. Matsuda)
- 12) 「原子ステップ型超平坦ポリマー基板上でのフレキシブル酸化化物 p/n 薄膜の作製と特性評価」, 第 65 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2018/3/17~3/20、早稲田大学) (17p-C103-13 / 岩佐・木下・中村・金子・松田・吉本)
- 13) 「原子ステップを有するポリマーシートへの超平坦導電性薄膜の作製」, 第 65 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2018/3/17~3/20、早稲田大学) (20p-B401-9 / 山田・後藤・木下・中村・金子・松田・吉本)
- 14) 「周期的ナノパターン表面を有するポリマー基板上への酸化化物半導体薄膜の作製と電気特性評価」, 第 79 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2018/9/18~9/21、名古屋国際会議場) (19p-234A-9 / 岩佐・大賀・土嶺・金子・松田・吉本)
- 15) 「0.3 nm 高さの直線状原子ステップを有する PMMA 及びポリイミドシートにおける光化学反応および成膜による表面特性の制御」, 第 79 回 応用物理学会 秋季学術講演会 (2018/9/18~9/21、名古屋国際会議場) (19p-231C-2 / 山田・岩佐・大賀・金子・松田・吉本)
- 16) 「酸化化物半導体薄膜の成長および特性に及ぼすポリマー基板表面における原子レベルパターンの影響」, 第 66 回 応用物理学会 春季学術講演会 (2019/3/9~3/12、東京工業大学) (11p-S011-14 / 大賀・岩佐・山田・金子・松田・吉本)

[図書] (計 1 件)

「ナノインプリント技術ハンドブック」(吉本 護 : 分担執筆、応用物理学会・ナノインプリント技術ハンドブック編集委員会 編、オーム社) (2019 年 7 月発刊予定)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 耐熱樹脂シートのナノインプリント法およびそれを用いて転写された耐熱樹脂シート, 発明者: 吉本 護  
権利者: 三井化学株式会社, 種類: 特許, 番号: 特許第 6478723 (特願 2015-044988), 取得年: 2019 年 2 月 15 日  
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ: <http://www.yoshimoto.iem.titech.ac.jp/>

## 6. 研究組織

1) 研究分担者 無し

2) 研究協力者

金子 智 (Satoru Kaneko)、松田 晃史 (Akifumi Matsuda)、嶋田 航大 (Koudai Shimada)、後藤 りさ (Risa Goto)、木下 太一郎 (Taichiro Kinoshita)、山田 志織 (Shiori Yamada)、岩佐 健 (Ken Iwasa)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。