

令和 2 年 5 月 23 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K04989

研究課題名(和文) 化学溶液析出法による人工光合成用酸化物半導体ナノ構造光電極の形成と形態制御

研究課題名(英文) Fabrication and shape control of oxide semiconductor photoelectrodes for artificial photosynthesis by chemical bath deposition

研究代表者

寺迫 智昭 (Terasako, Tomoaki)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：70294783

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)：人工光合成用半導体光電極への応用を目的として化学溶液析出法(CBD法)によるCuOおよびCu₂O薄膜、ZnOナノロッド(NRs)の成長と形態制御の可能性が検討された。ZnO NRsの平均幅およびCuOナノニードルの平均長はともにシード層の結晶粒サイズによって決定された。またZnO NRsとCu₂O薄膜の配向性はシード層の配向性に支配されていた。PEDOT:PSS/ZnO NRs有機-無機ハイブリッドショットキー接合UV光検出器の光学および電気的特性評価からNRsの表面での酸素イオン分子の吸着および脱離反応がNRsにおける電子およびホールの光生成と消滅に強く関与していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CBD法CuOおよびCu₂O薄膜、ZnO NRsの表面形態や配向性制御において溶媒の純度が重要な因子であることはもちろんのこと、シード層の選択が非常に重要であることが明らかになった。これはシード層の表面形態制御による半導体光電極の表面形態制御の可能性を示している。またZnO NRs表面での酸素分子イオンの脱着反応とキャリアの光生成と消滅が強く関係していることは、光電変換効率の改善にNRs成長後の熱処理や異種半導体材料の量子ドット堆積による表面修飾が有効であることを示している。本研究の成果は、高分子のような耐熱性の乏しい基板材料上への半導体光電極の形成に有益な情報を提供するものと期待している。

研究成果の概要(英文)：The possibility of morphology-controlled growth of CuO and Cu₂O films, and ZnO nanorods (NRs) by chemical bath deposition (CBD) based technique was examined for applying to semiconductor photoelectrodes for artificial photosynthesis. Both the average width of the ZnO NRs and the average length of the CuO nano-needles were determined by the grain size of the seed layer. Moreover, both the orientations of the ZnO NRs and the Cu₂O film were governed by that of the seed layer. Optical and electrical characterizations of the PEDOT:PSS/ZnO NRs organic-inorganic hybrid Schottky junction UV detectors revealed that the adsorption and desorption processes of oxygen molecular ions on the surface of the NRs strongly contribute to the photo-generation and annihilation of electrons and holes in the NRs.

研究分野：半導体工学

キーワード：酸化亜鉛 酸化銅 CBD法 ナノ構造 シード層 UV光検出器

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、太陽光エネルギーの活用法として「人工光合成」が注目されている。人工光合成は、太陽光エネルギーを用いて水(H₂O)と二酸化炭素(CO₂)から水素(H₂)や有機化合物を人工的に合成することを目的としている。2015年7月、豊田中央研究所は半導体光触媒と金属錯体触媒から成るハイブリッド触媒を用いてH₂OとCO₂からギ酸を生成するプロセスで、4.6%の世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成した。2016年3月には、人工光合成化学プロセス技術研究組合(ARPCHEM)がH₂生成用*p*型半導体粉末と酸素(O₂)生成用*n*型半導体粉末を導電体に塗布した混合粉末型光触媒シートでH₂Oから変換効率2%でH₂を取り出すことに成功している。植物と同等あるいはそれを凌駕する高いエネルギー変換効率を有する人工光合成の実現には、太陽光エネルギーを使ってH₂OをH₂とO₂に分解する「光触媒」の開発が鍵となる。「自然界」に目を向けるとシアノバクテリアや紅藻などにおいてアンテナ(集光装置)として働くフィコビリソームは、コアと呼ばれる中心部分と、そこから外側に突き出したロッドと呼ばれる構造から成っている。このロッドはフィコエリスリン、フィコシアニン、アロフィコシアニンの順番で構成されており、それぞれ異なる波長領域の光を化学エネルギーに変換している[1]。このフィコビリソームに見られる太陽光エネルギーを有効に利用するシステムは、シアノバクテリアや紅藻などが途方もなく長い年月をかけて「自然」に獲得した「ナノテクノロジー」と言える。そして人工光合成用光電極にとっても「材料の選択」と同様に選択した材料を「どのような形態で利用するか」が重要なポイントであることを示している。

2. 研究の目的

本研究では、従来の化学溶液析出(Chemical Bath Deposition; CBD)法に温度、pH、酸化還元電位の「その場観察」を導入し、この観察結果をもとに成長中に環境相を積極的に制御する「アクティブ」なCBD法を開発し、この技術を酸素発生に紫外域にバンドギャップを有する*n*型伝導性の酸化亜鉛(ZnO)と水素発生に赤外域および可視長波長領域にバンドギャップを有する*p*型伝導性の酸化銅(II)(CuO)及び酸化銅(I)(Cu₂O)を用いた人工光合成用Zスキーム型光触媒用複合ナノ構造体のデザインに応用することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)CuO 薄膜の成長

Cu 原料には硝酸銅(II)三水和物(CuNit)、アクセプタ性不純物Liの原料には硝酸リチウム(LiNO₃)を用いた。CuNit水溶液の濃度は0.03~0.125 Mとし、アンモニア水を加えることでpHを10もしくは11.0に調整した。基板には、市販Au(100 nm)/Ti(5 nm)/Si(100)ウェハ(Platypus Technologies)およびスパッタリング法で表面にAu薄膜を堆積したSiO₂/Si(100)ウェハを用いた。Au薄膜のスパッタリング時間は、3、5、10及び15 minとした。LiNO₃濃度は0.3~125 μMとした。バス温度は90 °C、成長時間は60もしくは120 minとした。

(2)Cu₂O 薄膜の成長

Cu 原料には、CuO 薄膜の成長に用いたと同じCuNitを使用した。CBD溶液には、0.05 MのCuNitと0.05 Mのヘキサメチレンテトラミン(HMT)の混合水溶液を用いた。基板には、CuO 薄膜の成長と同様にAu/Ti/Si(100)ウェハとAu/SiO₂/Si(100)ウェハを用いた。成長時には、Cu₂Oの成長を促進することが明らかになっている鉄片を基板材料の裏面に重ねて溶液中に浸けた(以下、「Fe支援CBD法」と称する)。成長時のバス温度は88 °C、成長時間は120 minとした。鉄片のサイズは、50から900mmの範囲で変化させた。

(3)ZnO ナノロッド(NRs)の成長

CBD溶液には、0.05 M硝酸亜鉛六水和物[Zn(NO₃)₂·6H₂O](ZnNit)と0.05 MのHMTの混合水溶液を用いた。NRs形状制御を目的としてZnO NRsの直径方向の成長の抑制に効果があることが報告されているポリエチレンジアミン(PEI)の添加も試みた。PEIの添加は、成長前にZnNitとHMTとともに混合する方法と成長中にシリンジポンプによって注入する方法によって行った。溶媒には、導電率1.6×10⁻³ S/cm、NaCl濃度0.0003 ppTの脱イオン水と導電率5.4×10⁻⁴ S/cm、NaCl濃度0.0002 ppTの脱イオン水を用いた。前者の低純度の脱イオン水を溶媒とするCBD溶液を溶液W_L、後者の高純度の脱イオン水を溶媒とするCBD溶液を溶液W_Hと呼ぶこととする。ZnO NRs成長用シード層には、4.0 wt.%のGa₂O₃を含有するZnO焼結体をターゲットとするイオンプレーティング(IP)法によってガラス基板上に堆積した200および10nm厚のGZO薄膜、CuOおよびCu₂O薄膜成長用のシード層に用いた同じAu/Ti/Si(100)ウェハ、市販のスズ添加酸化インジウム(In₂O₃:Sn, ITO)薄膜(フルウチ化学)およびフッ素添加酸化スズ(SnO₂:F, FTO)薄膜(PV Tech.)を用いた。バス温度は86 °C一定とし、成長時間は5から300 minの範囲で変化させた。

(4)評価方法

作製した試料の結晶学的特性評価はX線回折測定(XRD, PANalytical, X'pert Pro Powder)、表面形態観察は走査型電子顕微鏡(SEM, Hitachi, S-3100H)によって行った。ZnO NRsに対しては、化学量論組成から逸脱に起因する欠陥についての情報を得るためフォトルミネッセンス(PL)測定を行った。CuO薄膜は低抵抗率のAuシード層上に堆積されており、電流の大部分がAuシ

ド層を通過し、面内での抵抗率測定が困難であることが予測された。そこで抵抗率の評価は、CuO 薄膜表面に堆積した Au 電極と Au シード層の間、すなわち膜厚方向に対して行った。ZnO NRs 中におけるキャリアの光生成過程を評価するために PEDOT:PSS/ZnO NRs ショットキー接合光検出器を作製した。ショットキー接合光検出器は、ZnO NRs 層上に PEDOT[ポリ(3,4-エチレンオキシチオフェン)]:PSS (ポリスチレンスルホン酸) (Sigma-Aldrich, 高伝導度グレード) をスピニング法で塗布後、大気中、80°C、20 min の熱処理を施すことで形成した。その後、PEDOT:PSS 層表面に DC スパッタリング法で直径 3 mm の Au 電極を堆積した。作製したショットキー接合光検出器に対しては、暗状態及び紫外(UV)光照射下での電流-電圧(I-V)特性、光電流の波長応答特性および時間応答特性を測定した。

4. 研究成果

(1) CuO 薄膜の表面形態及び抵抗率の Au シード層スパッタリング時間依存性

CuO 薄膜表面はランダムに分布したニードル状ナノ構造が観察され、断面ではプレート状構造が観察された。Au シード層のスパッタリング時間が 5 から 15 min まで変化するとき、平均膜厚は 1700 から 1300 nm までへとわずかに減少し、平均結晶粒サイズ(ニードル状構造の長軸軸方向の長さを結晶粒サイズと定義)は 75 から 135 nm まで増加し、平均膜厚の減少率よりも平均結晶粒サイズの増加率の方が大きかった。スパッタリング時間を長くすることで Au シード層の結晶粒サイズは増加することから、この結果は Au シード層の粒径を制御することで CuO ニードル状ナノ構造のサイズ制御が可能であることを示唆している。CuO 層の抵抗率は Au シード層のスパッタリング時間の増加とともに低下したが、これは結晶粒サイズの増加に伴って結晶粒界が相対的に減少し、粒界散乱の影響が減少したことによるものと推測される。

(2) CuO 薄膜への Li 添加効果

CuO:Li 薄膜の平均膜厚には LiNO₃ 濃度に対する依存性が見られなかったが、平均結晶粒サイズは LiNO₃ 濃度の増加に伴い増加し、その増加率は pH 11 よりも pH 10 の CBD 溶液から成長した薄膜で大きかった。図 1 には、抵抗率の LiNO₃ 濃度依存性を示す。CBD 溶液の pH に依らず、LiNO₃ 濃度 3~5 μM の範囲で抵抗率が低い。CBD 溶液中の低 LiNO₃ 濃度領域では、LiNO₃ 濃度の増加に伴い CuO 結晶中に取り込まれる Li⁻イオンの濃度が増加し、キャリア濃度が増加する。しかしながら Li⁻イオンが過剰に取り込まれると添加された Li⁻イオンはキャリアの供給源としてよりも散乱中心として働くようになる。この結果、LiNO₃ 濃度の増加に伴い、移動度が低下し、抵抗率が上昇したと考えられる。

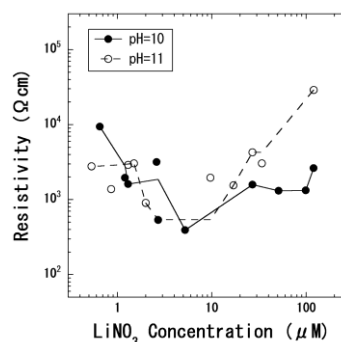


図 1 CuO 薄膜の抵抗率の LiNO₃ 濃度依存性

(3) Fe 支援 CBD 法による Cu₂O 薄膜の成長

図 2 に示すように Cu₂O 薄膜の配向性及び表面形態は、Au シード層の配向性と結晶粒サイズに強く依存していた。結晶粒サイズが大きく、Au(111)ピークが強い Au/Ti/Si(100)基板を用いた場合に粒径が大きく、比較的平坦な結晶粒からなる Cu₂O 薄膜がえられ成長した。また成長時に基板とともに溶液中に浸ける鉄片サイズの増加とともに溶液中の酸化還元電位が低下し、これに対応して Cu₂O 薄膜の成長速度が増加する傾向が見られた。これは、鉄片サイズによる Cu₂O 薄膜の成長速度制御の可能性を示す結果と言える。

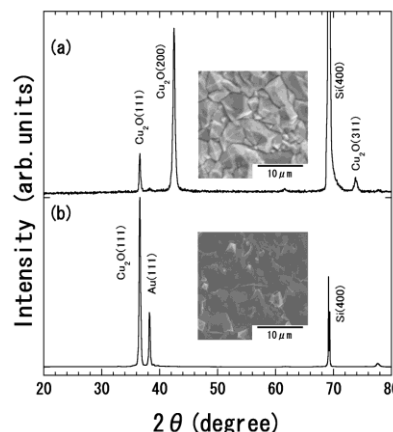


図 2 (a)Au/SiO₂/Si(100) 基板及び (b)Au/Ti/Si(100) 基板上に成長した Cu₂O 薄膜の XRD パターンと表面 SEM 像。

(4) ZnO NRs 成長における PEI 添加効果の検討

PEI が ZnO NRs 直径方向の成長を抑制するとの報告があることから[2], CBD 溶液調整の段階での添加や成長中にシリンジポンプによって一定速度で添加するなど様々な方法での PEI 添加を行った。しかしながら、PEI 添加による NRs 幅の減少は観察されず、むしろ NRs の成長そのものが阻害された。(5)で述べるように溶媒として用いた脱イオン水の純度が低かったため、脱イオン水中に含まれる塩素やミネラルが PEI の効果を打ち消す方向に働いたためではないかと推測している。

(5) ZnO NRs の脱イオン水純度依存性

SEM による形態観察では、脱イオン水の純度に依らず、GZO 基板面に対して垂直に配向した NRs の成長が確認された。しかしながら、溶液 W₁ から成長した NRs では隣り合う NRs の側面が接触しているのに対して、溶液 W₀ から成長した NRs では NRs 間に隙間が存在していることが明らか

になった。図3には、溶液 W_L と W_H を用いて成長した NRs の平均幅および平均長を成長時間との関係で示している。溶液 W_L から成長した NRs の平均幅及び平均長は、全成長時間に亘って溶液 W_H から成長した NRs のものに比べて大きい。溶液 W_L から成長した NRs では、成長時間 120 min で平均幅及び平均長がとも最大となっている。溶液 W_H から成長した NRs の平均幅は成長初期段階では成長時間に伴わずかに増加しているが、30 min 以降は ~ 80 nm であり、平均長は 120min 以降、成長時間とともに緩やかに増加している。

(6) ZnO NRs に働く応力の成長時間依存性

Au/Ti/Si(100) 基板及び GZO 基板の上に成長した ZnO NRs に働く応力を ZnO(002) ピークの回折角より算出し、成長時間との関係を調べた (ここでは CBD 溶液 W_L を使用)。その結果、Au シード層上に成長した NRs に働く応力が全成長時間に亘って引っ張り性応力であったのに対して、GZO シード層上に成長した NRs に働く応力は成長時間とともに圧縮性、引っ張り性、圧縮性と変化した。後者は Volmer-Weber 成長機構による薄膜成長で観察される特徴的な挙動である [3]。一方、Au と ZnO との格子定数の差は大きく、Au 薄膜上の ZnO 薄膜は van der Waals 力で付着している報告されている [4]。したがって、応力の時間依存性の相違は、NRs の成長機構の違いを反映していると考えられる。

(7) ZnO NRs 成長におけるシード層の配向性と結晶粒径の影響

GZO, ITO 及び FTO の三種類の透明導電酸化物(TCO) 薄膜をシード層に用いて ZnO NRs の成長を行った。本研究で用いた TCO 薄膜は、GZO, ITO, FTO の順に配向性が低下し、結晶粒径が増加した。これらの TCO 薄膜をシード層として成長した ZnO NRs の配向性と平均幅もこの順番に対応していた。

(8) ZnO NRs の PL スペクトルの NRs 平均幅依存性

ZnO NRs の PL スペクトルは、 ~ 380 nm にピークを持つ励起子発光が関与するバンド端発光と ~ 600 nm にピークを持つ格子間酸素原子に由来するオレンジ色発光からなり、シード層の種類に依らずバンド端発光に対するオレンジ色発光の強度比は ZnO NRs の平均幅の増加とともに低下した。NR 表面でのバンドベンディングの大きさは、一般的に表面状態密度の二乗に比例するとされている [5]。表面状態密度は NRs の直径の増加とともに減少することから [6]、NR の直径の増加に伴い、バンドベンディングによる電位勾配(電界)の大きさは低下する。したがって、バンド間励起によって NR 表面付近で生成された電子-正孔対あるいは励起子はナノロッドの直径の増加に伴い解離しにくくなり、励起子あるいは浅い不純物準位が関与する NBE 発光を介した放射再結合の確率が増すと予測される。

(9) ショットキー接合光検出器作製による ZnO NRs でのキャリア生成機構の検討

図4には、一例として成長時間 20 min で作製した ZnO NRs 層を有する PEDOT:PSS/ZnO NRs/GZO ヘテロ接合の暗状態及び波長 360nm の UV 光照射下で測定した I-V 特性を示す。順方向電流に比べて逆方向電流が低く、ショットキー接合の形成を示す整流性が確認できる。また 360nm の UV 光を照射することで逆方向電流が著しく増加しており、光電流の生成が認められる。

図5には、ZnO NRs の平均幅と順方向電圧印加時の I-V 曲線の傾きから求めた理想ダイオード因子 n と熱電子放出理論に基づいて逆方向電流から算出したショットキー障壁高さ ϕ_B の関係を示している。NRs の平均幅の増加に伴い、ショットキー障壁高さ

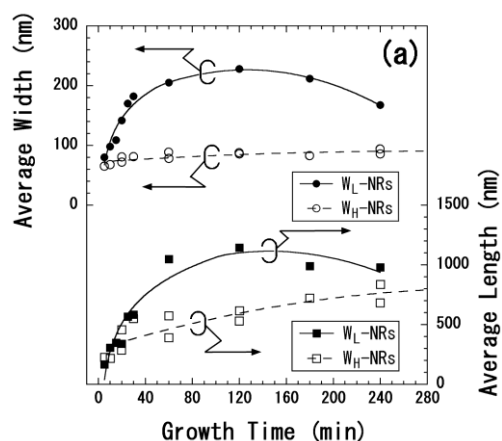


図3 CBD 溶液 W_L と W_H から成長した ZnO NRs の平均幅と平均長の成長時間依存性

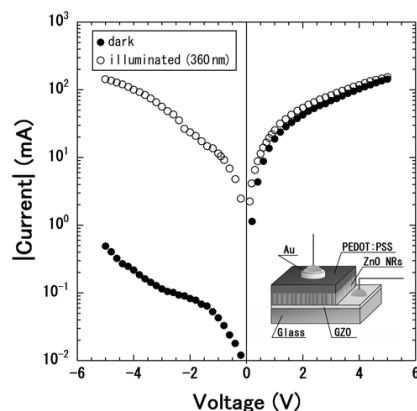


図4 PEDOT:PSS/ZnO NRs/GZO ヘテロ接合の暗状態 (●) および 360nm UV 光照射下での I-V 特性の一例。挿入図は素子構造である。

バンドベンディングによる電位勾配(電界)の大きさは低下する。したがって、バンド間励起によって NR 表面付近で生成された電子-正孔対あるいは励起子はナノロッドの直径の増加に伴い解離しにくくなり、励起子あるいは浅い不純物準位が関与する NBE 発光を介した放射再結合の確率が増すと予測される。

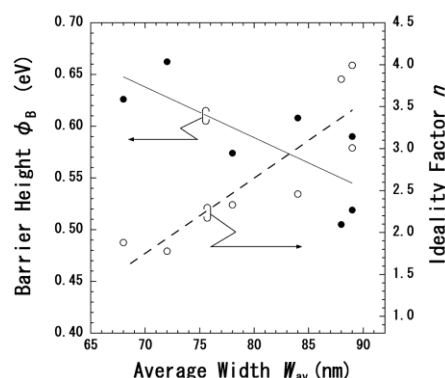


図5 ショットキー障壁高さ理想ダイオード因子の ZnO NRs 平均幅依存性

は減少し、ダイオード理想因子は増加しており、ダイオード特性が ZnO NRs の平均幅に支配されていることが分かる。

光電流の照射光波長依存性の検討から、光電流が ~ 440 nm より短波長の光が照射された際に生じ、バンドギャップエネルギーに相当する波長付近で最大となることが明らかになった。これは、光励起で生成された電子と正孔がともに光電流の生成に寄与していることを示している。光生成された正孔は、NRs 表面に吸着している酸素分子イオンの酸化に寄与する。酸素分子イオンの NRs 表面からの脱離によって低下したポテンシャル障壁を光生成された自由電子が通過していく [7]。

図 6 には、光電流の時間応答特性から求めた立ち上がり時の時定数と回復時（立ち下がり時）の時定数の NRs 平均幅依存性を示している。立ち上がり時間は ZnO NRs の平均幅が 68 から 88 nm まで増加するとき、0.8 から 11s と遅くなっている。一方、回復時間は NRs 平均幅に依らず、ほぼ 450 s 付近に分布している。これらの非常に遅い立ち上がり時および回復時の時定数は、光電流に関係するキャリアのダイナミクスがバルク中よりもむしろ NRs 表面で生じる反応に支配されていることを示唆している。立ち上がり時に比べ回復時の時定数がより遅い原因としては、酸素分子が自由電子を捕獲し、酸素分子イオンに戻り、再び NRs 表面に吸着することに起因するものと考えている。

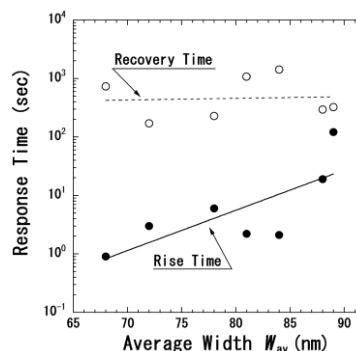


図 6 紫外光 (360 nm) 照射時の光電流の立ち上がり時の時定数 (●) と回復 (立ち下がり) 時の時定数 (○) の NRs 平均幅依存性。

(10) ZnO NRs/CuO 及び ZnO NRs/Cu₂O ヘテロ構造の形成

CBD 法で作製した CuO 薄膜及び Fe 支援 CBD 法で作製した Cu₂O 薄膜上に CBD 法によって ZnO NRs を堆積することで、ZnO NRs/CuO 及び ZnO NRs/Cu₂O ヘテロ構造の作製を試みた (ただし CuO 薄膜上に ZnO NRs を堆積する際には、Zn 原料に酢酸亜鉛二水和物を使用)。CuO 薄膜上及び Cu₂O 薄膜上に ZnO NRs が堆積可能であることが確認されたが、CuO 薄膜上では成長した NRs の大部分が CuO 薄膜の表面の横たわっていた。図 7 に示すように Cu₂O 薄膜上では垂直配向した NRs と傾斜して成長した NRs とが混在していた。CuO 表面がニードル状のナノ構造からなっているのに対して、Cu₂O 薄膜表面は比較的平坦であったことを考慮すると、ヘテロ構造形成には下地となる CuO 及び Cu₂O 層の表面状態の制御が重要であると言える。

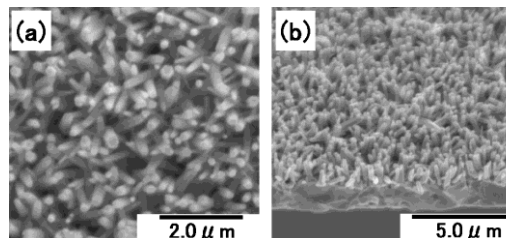


図 7 ZnO NRs/Cu₂O ヘテロ構造の (a) 表面及び (b) 鳥瞰 SEM 像の一例

ZnO NRs/CuO 及び ZnO NRs/Cu₂O ヘテロ構造に対して I-V 特性を測定したが、pn 接合形成を示す整流性は観察されなかった。

<引用文献>

- [1] 園池公毅, ブルーボックス B-1612 光合成とはなにか 生命システムを支える力 講談社 (2008) p. 77.
- [2] L.-Y. Chen, Y.-T. Yin, C.-H. Chen, J.-W. Chiou, Influence of Polyethyleneimine and Ammonium on the Growth of ZnO Nanowires by Hydrothermal Method, J. Phys. Chem. C **115** (2011) 20913-20919.
- [3] J. A. Floro, S. J. Heame, J. A. Hunter, P. Kotula, E. Chason, S. C. Seel, C. V. Thompson, The dynamic competition between stress generation and relaxation mechanisms during coalescence of Volmer-Weber thin films, J. Appl. Phys. **89** (2001) 4886-4897.
- [4] X. Deng, K. Yao, K. Sun, W.-X. Li, J. Lee, C. Matranga, Growth of Single- and Bilayer ZnO on Au(111) and Interaction with Copper, J. Phys. Chem C **117** (2013) 11211-11218.
- [5] Z.-M. Liao, K.-J. Liu, J.-M. Zhang, J. Xu, D.-P. Yu, Effect of surface states on electron transport in individual ZnO nanowires, Phys. Lett. A **367** (2007) 207-210.
- [6] A. Soudi, C.-H. Hsu, Y. Gu, Diameter-Dependent Surface Photovoltage and Surface State Density in single Semiconductor Nanowires, Nano Lett. **12** (2012) 5111-5116.
- [7] C. Soci, A. Zhang, B. Xiang, S. A. Dayeh, D. P. R. Aplin, J. Park, X. Y. Lo, D. Wang, ZnO Nanowire UV Photodetectors with High Internal Gain, Nano Lett. **7** (2007) 1003-1009.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 4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 寺迫智昭, 小原翔平, 難波優, 橋国直人, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也	4. 巻 Vol. 119, No.35
2. 論文標題 化学溶液析出法によるZnOナノロッドの成長とPEDOT:PSS/ZnOナノロッドヘテロ接合による紫外光検出	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 57-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 濱本昂大, 寺迫智昭, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也	4. 巻 Vol. 119, No. 303
2. 論文標題 化学溶液析出法によって種々のTCOシード層に成長したZnOナノロッドの構造およびフォトルミネッセンス特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 9-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 寺迫智昭, 濱本昂大, 山田健太, 甲田真一朗, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也	4. 巻 Vol. 119, No. 303
2. 論文標題 化学溶液析出法による極薄GZO薄膜シード層上へのZnOナノロッドの成長と構造及び光学特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 15-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 Terasako Tomoaki, Kitamoto Ryutaroh, Okada Hideyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Fe-assisted chemical bath deposition of highly oriented Cu ₂ O films and formation of ZnO nanorods/Cu ₂ O heterojunctions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Today: Proceedings	6. 最初と最後の頁 784 ~ 791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matpr.2018.12.075	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 Terasako Tomoaki, Obara Shohei, Yagi Masakazu, Nomoto Junichi, Yamamoto Tetsuya	4. 巻 677
2. 論文標題 Structural and photoluminescence properties of ZnO nanorods grown on ion-plated Ga-doped ZnO seed layers by chemical bath deposition and fabrication of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) poly(styrenesulfonate)/ZnO nanorods heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 109 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2019.03.025	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 Terasako Tomoaki, Obara Shohei, Sakaya Shogo, Tanaka Mamoru, Fukuoka Ryota, Yagi Masakazu, Nomoto Junichi, Yamamoto Tetsuya	4. 巻 669
2. 論文標題 Morphology-controlled growth of ZnO nanorods by chemical bath deposition and seed layer dependence on their structural and optical properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 141-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2018.10.039	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 小原翔平, 寺迫智昭, 難波優, 橋国直人, 矢木正和, 野本淳一, 山本哲也	4. 巻 Vol. 118, No. 331
2. 論文標題 化学溶液析出法によるGZOシード層上へのZnOナノロッドの成長とPEDOT:PSS/ZnOナノロッドヘテロ接合の形成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 岡田英之, 寺迫智昭, 五丁健治, 林本直也	4. 巻 Vol. 118, No. 331
2. 論文標題 化学溶液析出法による無添加及びLi添加CuO薄膜の成長と構造及び電気的特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 49-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 Tomoaki Terasako, Kohki Ohnishi, Hideyuki Okada, Shohei Obara, Masakazu Yagi	4. 巻 644
2. 論文標題 Possibility of selective and morphology-controlled growth of CuO and Cu ₂ O films	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 146-155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2017.08.054	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 寺迫智昭, 大西航揮, 小原翔平, 福岡良太, 野本淳一, 山本哲也	4. 巻 Vol. 117, No. 334
2. 論文標題 イオンレーティング法GZOシード層上へのZnOナノロッドのCBD成長とZnOナノロッド/PEDOT:PSSヘテロ構造の形成	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 37-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 寺迫智昭, 岡田英之, 小原翔平	4. 巻 Vol. 117, No.148
2. 論文標題 Fe支援化学溶液析出法によるCu ₂ O薄膜の成長と表面モフォロジー	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 67-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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33件 (うち招待講演 3件/うち国際学会 13件)

1. 発表者名 寺迫智昭, 小原翔平, 難波優, 橋国直人, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によるZnOナノロッドの成長とPEDOT:PSS/ZnOナノロッドヘテロ接合による紫外光検出
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会 (SDM, ED, CPM共催) ~機能性デバイス材料・作製・特性評価および関連技術~
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Toshiki Kurashige, Hideyuki Marui, Gou Manabe, Masakazu Yagi, Masami Mori, Yoshihiko Sadaoka
2. 発表標題 Vapor-liquid-solid growth of SnO ₂ nanowires by atmospheric-pressure CVD and their structural, optical and gas-sensing properties
3. 学会等名 EuroCVD 22 & Baltic ALD 16 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱本昂大, 寺迫智昭, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によって成長したZnOナノロッドの構造およびフォトルミネッセンス特性のシード層依存性
3. 学会等名 2019年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Shohei Obara, Suguru Namba, Naoto Hashikuni, Masakazu Yagi, Yutaka Furubayashi, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Chemical Bath Deposition of ZnO Nanorods on Ion-plated Ga doped ZnO Seed Layers and Formation of PEDOT:PSS/ZnO Nanorods Heterostructures for UV Light Detection
3. 学会等名 20th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Hideyuki Okada, Kenji Gochoh, Naoya Hayashimoto
2. 発表標題 Structural and Electrical Properties of Undoped and Li Doped CuO Films Grown by Chemical Bath Deposition
3. 学会等名 20th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱本昂大, 寺迫智昭, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によって種々のTCOシード層に成長したZnOナノロッドの構造およびフォトルミネッセンス特性
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会 (CPM, LQE, ED共催) ~ 窒化物半導体光・電デバイス、材料、関連技術、及び一般 ~
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺迫智昭, 濱本昂大, 山田健太, 甲田真一朗, 矢木正和, 古林寛, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法による極薄GZO薄膜シード層上へのZnOナノロッドの成長と構造及び光学特性
3. 学会等名 電子情報通信学会研究会 (CPM, LQE, ED共催) ~ 窒化物半導体光・電デバイス、材料、関連技術、及び一般 ~
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Shohei Obara, Suguru Namba, Naoto Hashikuni, Masakazu Yagi, Yutaka Furubayashi, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 UV Light Detecting Properties of ZnO Nanorods Grown on Ion-plated Ga Doped ZnO Seed Layers by Chemical Bath Deposition
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Yutaka Furubayashi, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Influence of Seed Layers on Structural and Morphological Properties of Nickel Hydroxide Nanowalls Grown by Chemical Bath Deposition
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Shohei Obara, Shogo Sakaya, Mamoru Tanaka, Ryota Fukuoka, Masakazu Yagi, Junichi Nomoto, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Morphology-controlled growth of ZnO nanorods by chemical bath deposition and seed layer dependence on their structural and optical properties
3. 学会等名 45th International Conference on Metallurgical Coatings & Thin Films (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Ryutaroh Kitamoto, Hideyuki Okada
2. 発表標題 Fe-assisted chemical bath deposition of highly oriented Cu ₂ O films and formation of ZnO nanorods/Cu ₂ O heterojunctions
3. 学会等名 Nanotech Malaysia 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Shohei Obara, Masakazu Yagi, Junichi Nomoto, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Structural and photoluminescence properties of ZnO nanorods grown by chemical bath deposition and formation of PEDOT:PSS/ZnO nanorods heterojunctions
3. 学会等名 10th International Symposium on Organic Molecular Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小原翔平, 寺迫智昭, 宮田晃, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によるZnOナノロッドの成長及びPEDOT:PSSとの無機-有機ハイブリッドヘテロ接合
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺迫智昭, 小原翔平, 矢木正和, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 ZnOナノロッドのCBD成長と構造及びフォトルミネッセンス特性へのシード層の効果
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Shohei Obara, Masakazu Yagi, Junichi Nomoto, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Structural and optical properties of ZnO nanorods grown on ion-plated GZO buffer layers by chemical bath deposition and fabrication of PEDOT:PSS/ZnO nanorods heterojunctions
3. 学会等名 7th International Symposium on Transparent Conductive Materials & 4th E-MRS & MRS-j Bilateral Symposium on Advanced Oxides and Wide Bandgap Semiconductors (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田英之, 寺迫智昭, 五丁健治, 林本直也
2. 発表標題 化学溶液析出法による無添加及びLi添加CuO薄膜の成長と構造および電気的特性
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料(CPM)研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小原翔平, 難波優, 橋国直人, 寺迫智昭, 矢木正和, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によるGZOシード層上へのZnOナノロッドの成長とPEDOT:PSS/ZnOナノロッドヘテロ接合の形成
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料(CPM)研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺迫智昭, 松井健乃介, 三島 健, 矢木正和
2. 発表標題 Cu ₂ O薄膜上へのZnOナノロッドの化学溶液析出法による堆積と構造及びフォトルミネッセンス特性
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田英之, 五丁健治, 林本直也, 寺迫智昭
2. 発表標題 化学溶液析出法によるLiドープCuO薄膜の作製と電気的特性
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小原翔平, 難波優, 橋国直人, 寺迫智昭, 宮田晃, 矢木正和, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によるZnOナノロッドの成長及びPEDOT:PSSとの無機-有機ハイブリッドヘテロ接合(II)
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Kohki Ohnishi, Hideyuki Okada, Shohei Obara
2. 発表標題 Possibility of Selective and Morphology-Cotrolled Growth of CuO and Cu ₂ O Films
3. 学会等名 44th International Conference on Metallurgical Coatings & Thin Films (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺迫智昭, 岡田英之, 小原翔平
2. 発表標題 Fe支援化学溶液析出法によるCu ₂ O薄膜の成長と表面モフォロジー
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小原翔平, 寺迫智昭, 宮田 晃, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 GZOバッファ層への化学溶液析出法による酸化亜鉛薄膜の堆積
3. 学会等名 2017年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田英之, 寺迫智昭, 宮田 晃
2. 発表標題 化学溶液析出法によるCuO薄膜の成長と結晶学的特性
3. 学会等名 2017年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺迫智昭
2. 発表標題 新奇的な化学溶液析出法による酸化第一銅の成長
3. 学会等名 2017年度応用物理学会中国四国支部若手半導体研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Hideyuki Okada, Shohei Obara
2. 発表標題 Chemical Bath Deposition of CuO, Cu ₂ O, ZnO and Their Heterojunctions
3. 学会等名 IUMRS ICAM 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小原翔平, 寺迫智昭, 宮田 晃, 野本淳一, 山本 哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によるZnO薄膜成長におけるGZOバッファ層の効果
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺迫智昭, 岡田英之, 小原翔平, 宮田 晃
2. 発表標題 Fe支援化学溶液析出法によるCu ₂ O薄膜の成長と表面モフォロジー
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡田英之, 寺迫智昭, 宮田 晃
2. 発表標題 化学溶液析出法によるCuO薄膜の成長と配向制御の可能性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoaki Terasako, Hideyuki Okada, Shohei Obara
2. 発表標題 Growth of Highly Oriented Cu ₂ O Films by Fe-assisted Chemical Bath Deposition and Formation of Their Heterojunctions with ZnO Nanorods
3. 学会等名 TACT2017 International Thin Films Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shohei Obara, Tomoaki Terasako, Junichi Nomoto, Tetsuya Yamamoto
2. 発表標題 Chemical bath deposition of ZnO thin films on GZO buffer layer and their structural and photoluminescence properties
3. 学会等名 TACT2017 International Thin Films Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺迫智昭, 大西航暉, 小原翔平, 福岡良太, 野本淳一, 山本 哲也
2. 発表標題 イオンプレーティング法GZOシード層上へのZnOナノロッドのCBD成長とZnOナノロッド/PEDOT:PSSヘテロ構造の形成
3. 学会等名 電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会 (鳥栖) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺迫智昭, 小原翔平, 野本淳一, 山本哲也
2. 発表標題 化学溶液析出法によって成長したZnO及びCu ₂ O薄膜の構造特性におけるシード層の効果
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会 シンポジウムC
4. 発表年 2017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
--	---------------------------	-----------------------	----