

令和元年6月14日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21032

研究課題名(和文) 触媒粒子層の表面反応機能高度化を実現するナノ粒子マイクロプリンティング法の開発

研究課題名(英文) Microstructured catalyst-particle layers for enhanced surface reaction performance

研究代表者

亀谷 雄樹 (KAMEYA, Yuki)

千葉工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50734422

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では化学反応の場を構成する“触媒粒子層”としてのナノ粒子の利用を探索した。ナノ粒子層の構造制御により触媒反応の促進を図るため、ナノ粒子層にマイクロ表面構造を付与するプロセスを構築し、その構造を評価した。さらに、炭素系微粒子の酸化除去を行うことにより、表面構造に依存した反応特性を評価した。その結果、表面構造が付与されることにより、触媒反応特性が向上することを確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年のナノ材料製造技術における著しい進展を背景として、ナノ材料を応用した新規な材料機能性の創出が望まれる。環境・エネルギー技術の発展に貢献し得る新しいコンセプトの提示が工学分野の基礎研究において重要であり、本研究はその課題の一つに取り組むものである。ナノ粒子分散液を乾燥し溶媒を除去して得られる固相の“ナノ粒子層”は微細配線や光学薄膜などを目的として研究開発が進められてきたが、本研究では化学反応の場を構成する“触媒粒子層”としての利用を探索した。

研究成果の概要(英文)：Photocatalytic soot oxidation was investigated using TiO<sub>2</sub> plain and microstructured substrates which were fabricated through soft lithography processes using a TiO<sub>2</sub> nanocolloid. Enhanced photocatalytic activity for soot oxidation was observed depending on the TiO<sub>2</sub> substrate structure. Multiscale transport phenomena in the microstructured photocatalyst substrates were discussed.

研究分野：エネルギー工学

キーワード：光エネルギー 光触媒 触媒反応 光吸収 ナノ粒子 マイクロ構造 表面 ナノコロイド

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年のナノマテリアル製造技術における著しい進展を背景として、ナノマテリアルを応用した新規な材料機能性の創出が望まれる。環境・エネルギー技術の発展に貢献し得る新しいコンセプトの提示が工学分野の基礎研究において重要であり、本研究はその課題の一つに取り組むものである。

ナノ粒子分散液を乾燥し溶媒を除去して得られる固相の“ナノ粒子層”は微細配線や光学薄膜などを目的として研究開発が進められてきたが、本研究では化学反応の場を構成する“触媒粒子層”としての利用を探索する。ナノ粒子層の内部構造及び外形の制御により触媒反応の促進が達成できると考え、工学的に有用な広い面積においてナノ粒子層の構造制御が可能な“ナノ粒子マイクロプリンティング法”の実現を目指すこととした。

### 2. 研究の目的

本研究では“触媒粒子層”の性能向上を実現するための粒子層形成プロセスの開発を目的とし、研究代表者の提案する手法の妥当性を検証する。ナノ粒子分散液を用いて、基板上にマイクロスケールの外形形状が形成された粒子層、または平面外形で層厚さの均一性が高い粒子層、を得る。

粒子層の外形構造付与のためマスタ構造転写に用いる PDMS は、ナノ粒子分散液で用いられる溶媒を透過する性質があるため、溶媒蒸発速度を制御する手法を提案し、その手法の実証を行うこととした。さらに、作製した触媒粒子層の反応特性を評価し、表面マイクロ構造の与える影響について検討する。

### 3. 研究の方法

本研究では、“触媒粒子層”における表面反応機能の高度化を実現することを目的とし、ナノ粒子層の外形形状を制御可能な製作プロセスを構築するため、以下の項目を実施した。

- (1) ナノ粒子液中分散状態と平坦粒子堆積層外形の評価
- (2) マイクロスケール外形構造付与と表面構造の評価
- (3) 表面構造に依存した表面反応機能の検証

“ナノ粒子マイクロプリンティング法”の基礎技術を構築するとともに、本技術を適用する具体的なエネルギー変換システムへ迅速に応用できるように研究を進めていくこととした。

### 4. 研究成果

#### 4.1 触媒ナノ粒子層の形成

酸化チタンナノ粒子分散液を用いて触媒粒子層の形成を試みた。分散液の性状についてはゼータ電位・粒径測定システムを用いて評価し、粒子径については透過型電子顕微鏡を用いた計測も行った。酸化チタンの結晶状態の分析には顕微レーザーラマン分光光度計を用い、形成された粒子層の膜厚計測には可視分光光度計を用いた。形成された触媒層の表面状態に関しては、走査型電子顕微鏡を用いて観察を行った。ガラス基板上に形成されたナノ粒子層の電子顕微鏡像を Fig. 1 に示す。意図したマイクロ構造が形成されていることを確認できた。

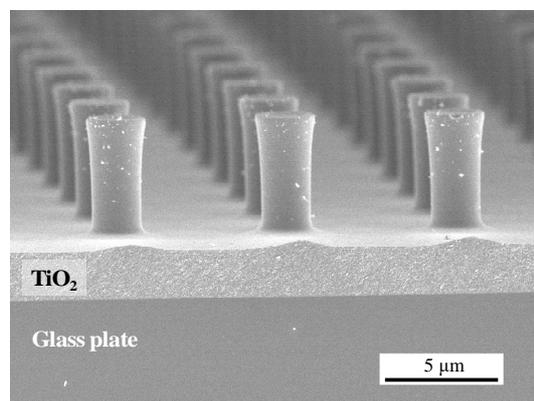


Fig. 1 表面マイクロ構造を有する酸化チタンナノ粒子層

#### 4.2 表面反応機能の実証

形成された触媒層の表面における反応特性を評価するため、炭素系微粒子を触媒層の表面に堆積させ、紫外光照射による光触媒反応により酸化除去を実施した。反応物である炭素系微粒子の堆積状態に関しては、走査型電子顕微鏡を用いて観察を行った。

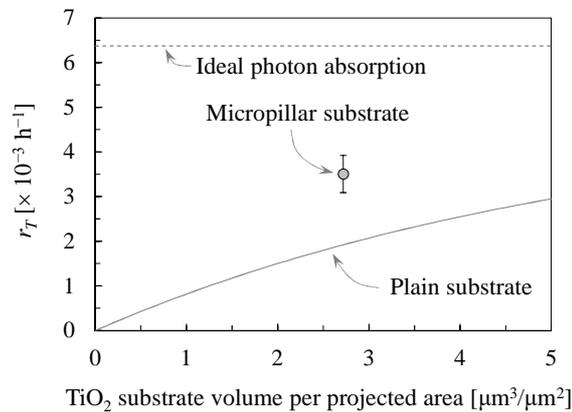


Fig. 2 光触媒層の反応特性：平坦面とマイクロ構造面の性能比較

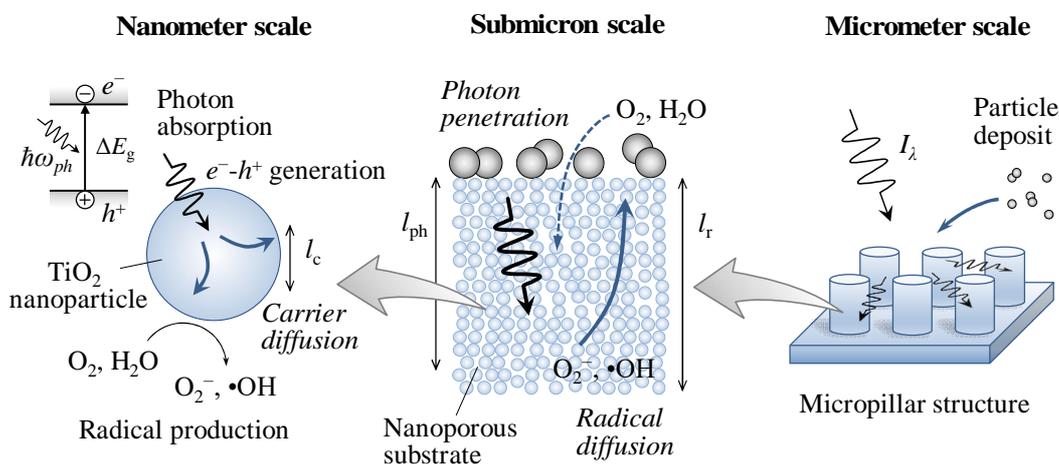


Fig. 3 触媒ナノ粒子層におけるエネルギー変換プロセスの概要

触媒ナノ粒子を用い、平坦面とマイクロ構造面の2種類の触媒粒子層を作製し、それらの反応特性を比較した。結果を Fig. 2 に示す。平坦面に比べマイクロ構造面の反応速度が向上し、理想的な光吸収が行われた条件で予測される反応速度に近づくことがわかった。

触媒ナノ粒子から構成される触媒層に関し、そこで進行する触媒反応に関わるエネルギー変換プロセスをまとめたものが Fig. 3 である。触媒ナノ粒子が有する反応特性を有効に利用するために、多孔性粒子層として形成されるマイクロ構造触媒層を用いることが一つの手段となり得ることが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) **Yuki Kameya**, “Wettability modification of polydimethylsiloxane surface by fabricating micropillar and microhole arrays”, *Materials Letters*, Vol. 196 (2017), pp. 320–323.  
(査読有) DOI: 10.1016/j.matlet.2017.03.103
- (2) **Yuki Kameya**, “Kinetic Monte Carlo simulation of nanoparticle film formation via nanocolloid drying”, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 19 (2017), Article 214.  
(査読有) DOI: 10.1007/s11051-017-3898-3
- (3) **Yuki Kameya**, Kenjiro Torii, Shuichiro Hirai, Massoud Kaviani, “Photocatalytic soot oxidation on TiO<sub>2</sub> microstructured substrate”, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 327, pp. 831–837.  
(査読有) DOI: 10.1016/j.cej.2017.06.094

〔学会発表〕(計 1 件)

(1) 亀谷雄樹、「入射光エネルギー有効利用のためのナノ多孔質表面構造形成による光触媒反応の促進」, 平成 29 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会 (2017 年 10 月 27 日, アオーレ長岡 (新潟県長岡市))

〔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

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

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。