

# 高効率無機/有機太陽電池を実現するナノ金平糖粒子表面へのナノ空隙制御技術の開発 【2020-2021年度 2020M-191 JKA補助事業の紹介】

東京電機大学 工学部 電気電子工学科 ナノエネルギー研究室 佐藤慶介

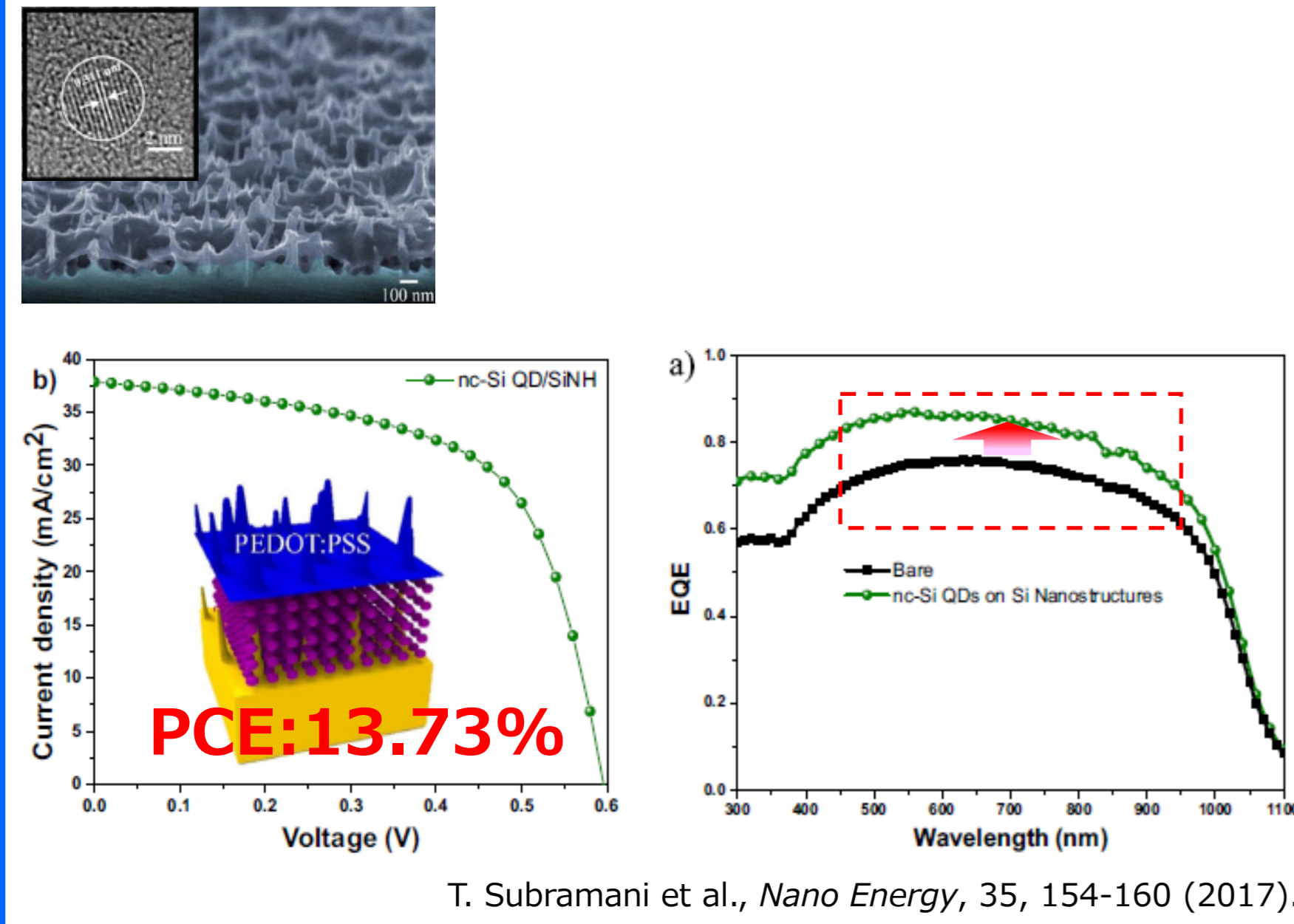


JKA Social Action  
競争とオートレースの補助事業

## 発電に必要なキーマテリアルの現状と課題

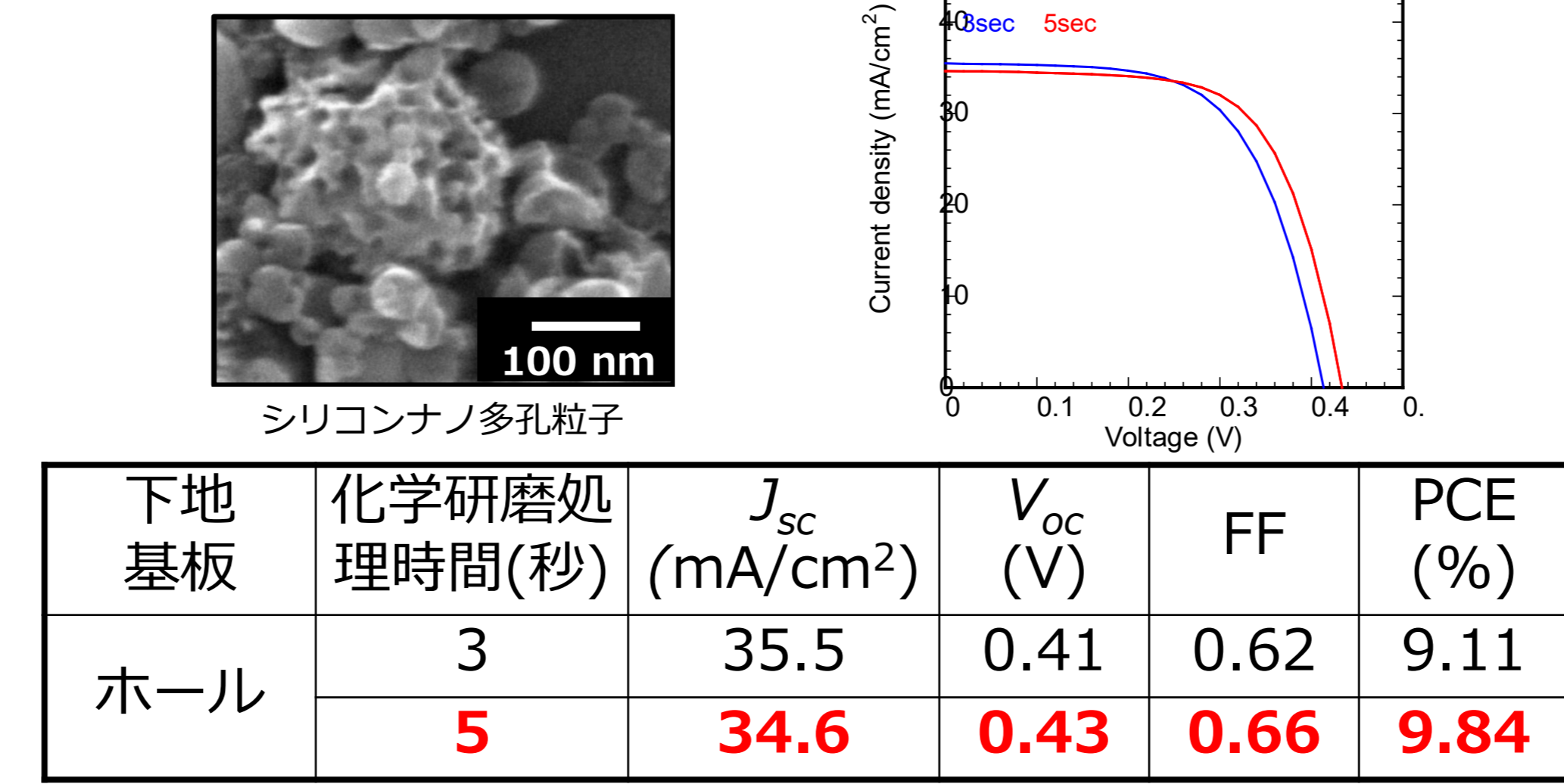
### シリコンナノ粒子と有機ポリマーを複合化した安価な太陽電池

#### シリコンナノ粒子を導入すると...



- ☹️ 太陽光の吸収域制御
- ☹️ 少ないp/n界面による光キャリアの低生成効率

#### 【2018-2019年度のJKAの課題】 シリコンナノ多孔粒子と有機ポリマーを複合化した安価な太陽電池

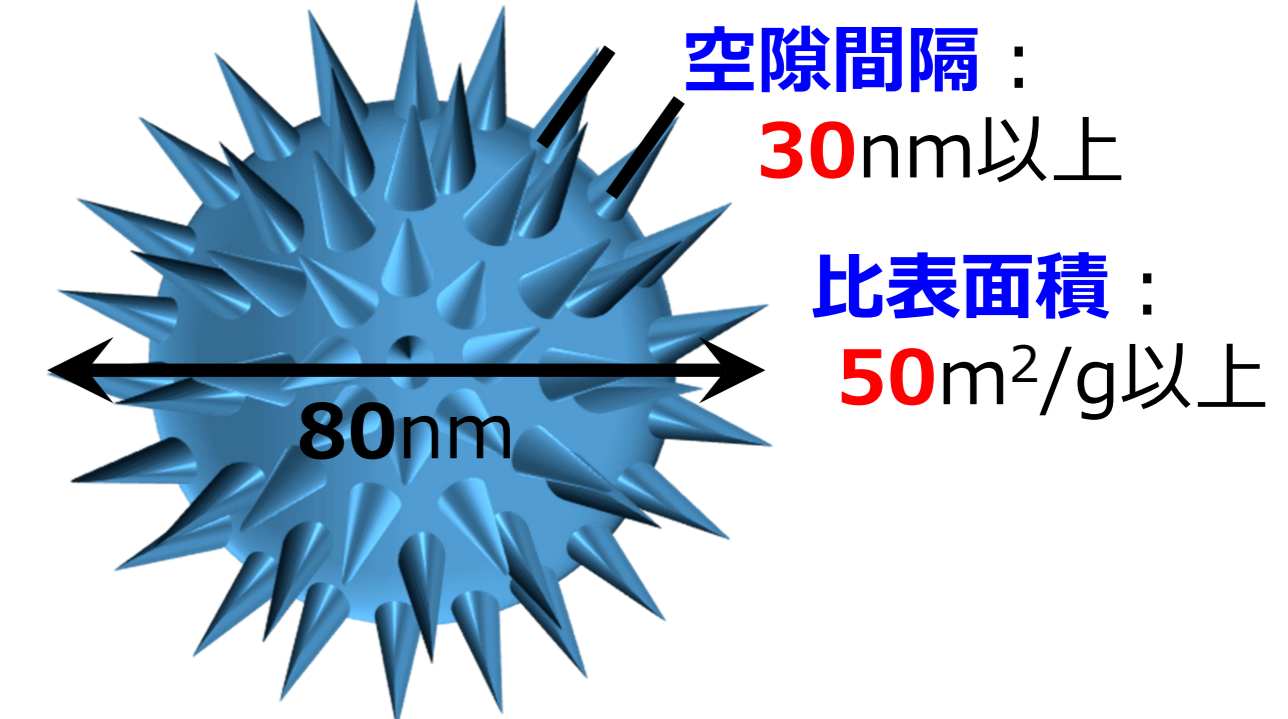


- ☹️ 細孔構造の制御による高い比表面積
  - ☹️ ポリマーの密着性低下による低い発電効率
- 細孔構造を金平糖構造に改質 ⇒ 発電効率の向上

#### 本研究アプローチ

#### シリコンナノ粒子表面へのナノデザイン設計

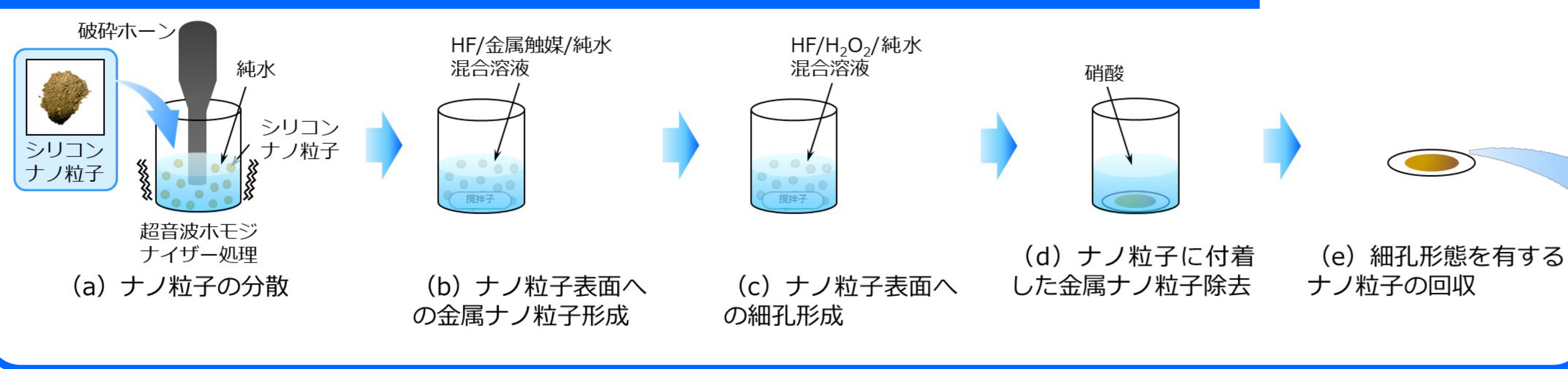
- 😊 金平糖構造の突起間の空隙分布
- 😊 ポリマー被覆と粒子配列の均一化
- 😊 金平糖構造と太陽電池性能の相関性



金平糖構造を有するシリコンナノ粒子 (シリコンナノ金平糖粒子)

## 成果 1: シリコンナノ金平糖粒子の合成技術と諸特性

### シリコンナノ粒子表面への細孔構造の製造プロセス



空隙間隔と比表面積はHF:HNO<sub>3</sub>のモル濃度比率で調整

### 金平糖構造の製造プロセス

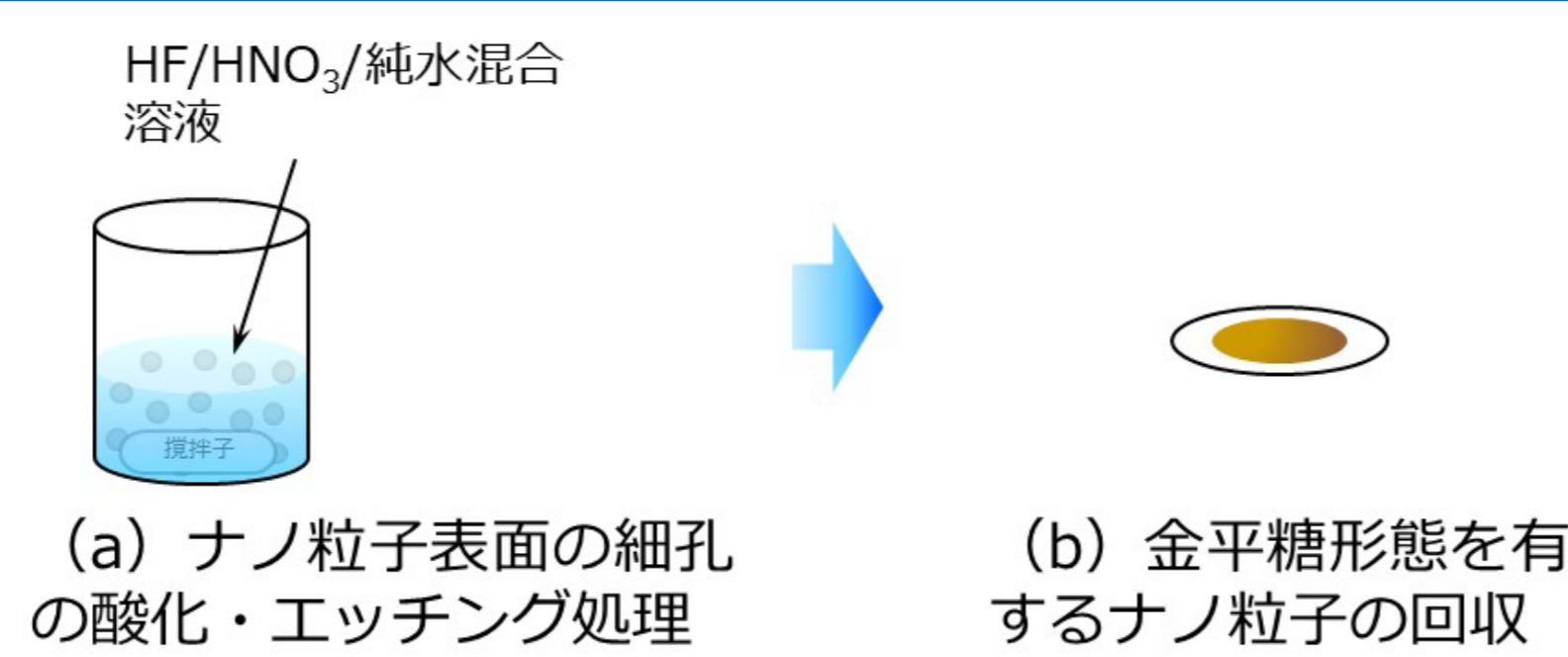
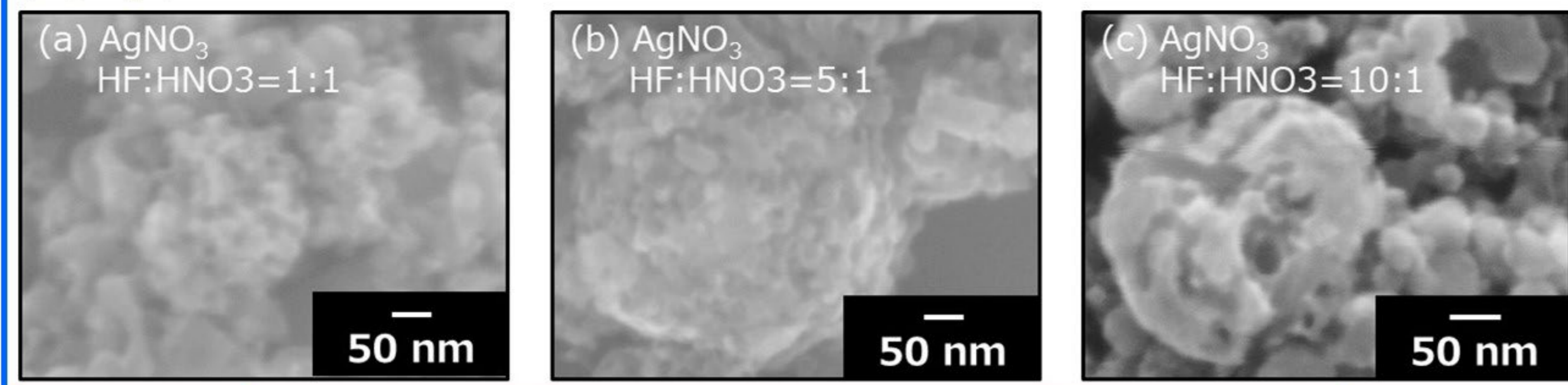


図1 シリコンナノ粒子表面への金平糖構造の製造プロセス

#### 細孔構造



#### 金平糖構造

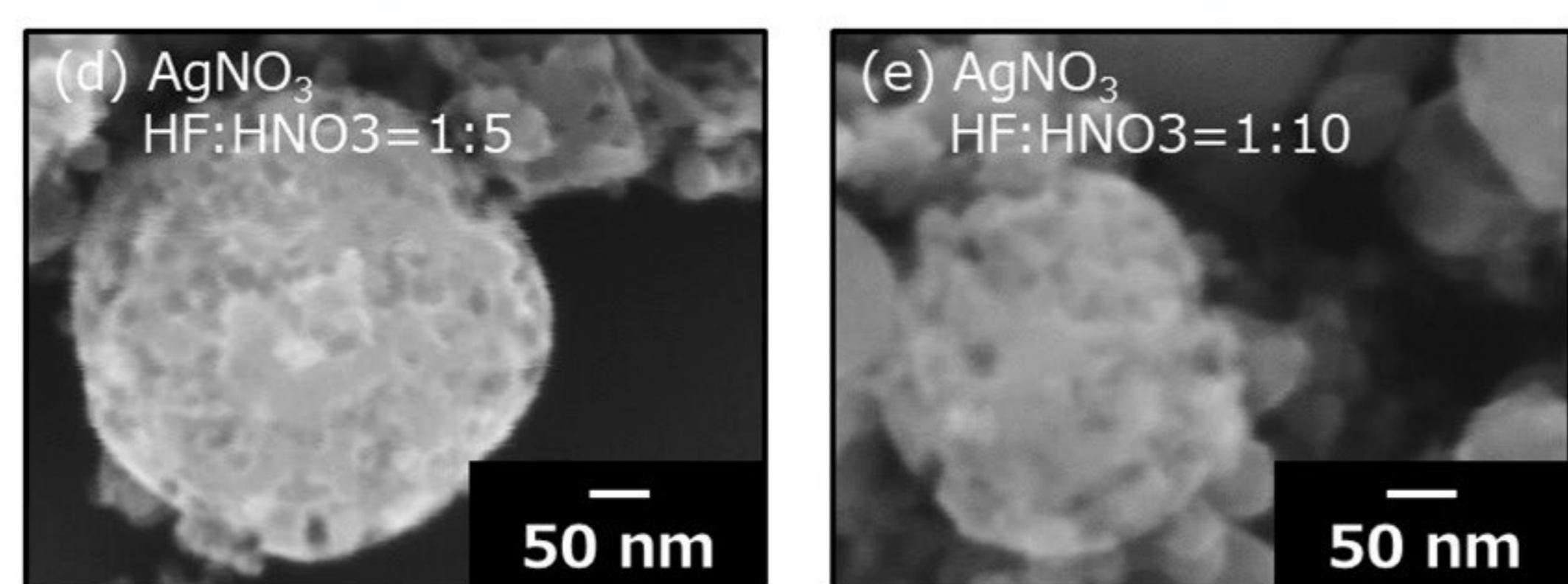
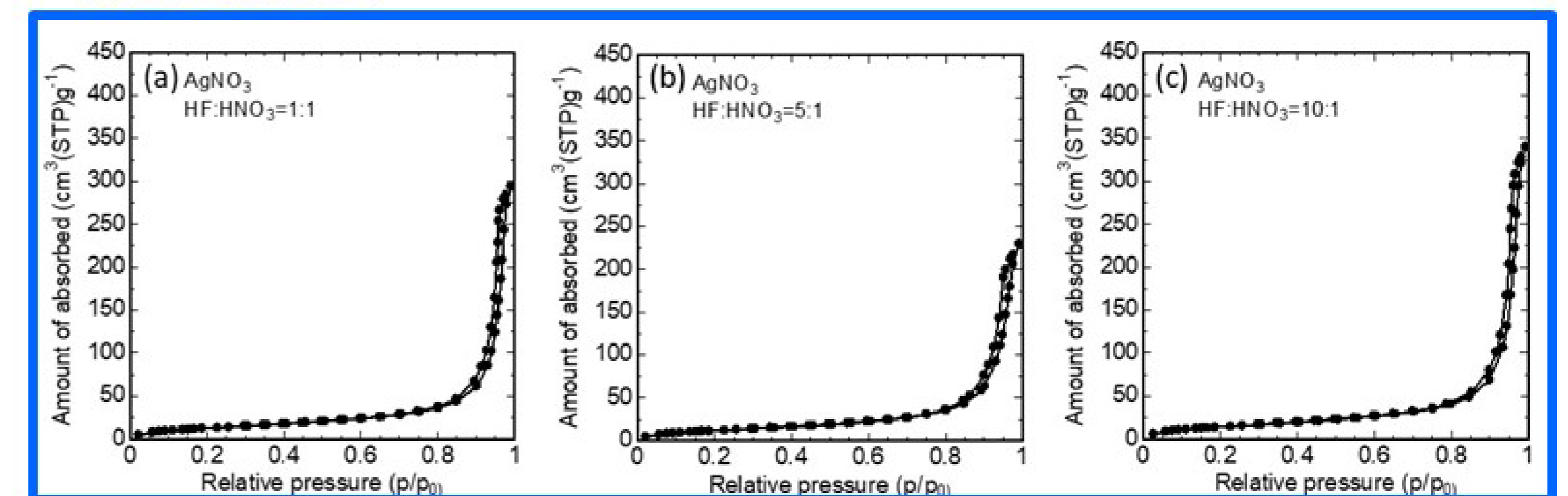


図2 HF:HNO<sub>3</sub>のモル濃度を変化させて作製したシリコンナノ粒子のSEM像

#### 細孔構造



#### 金平糖構造

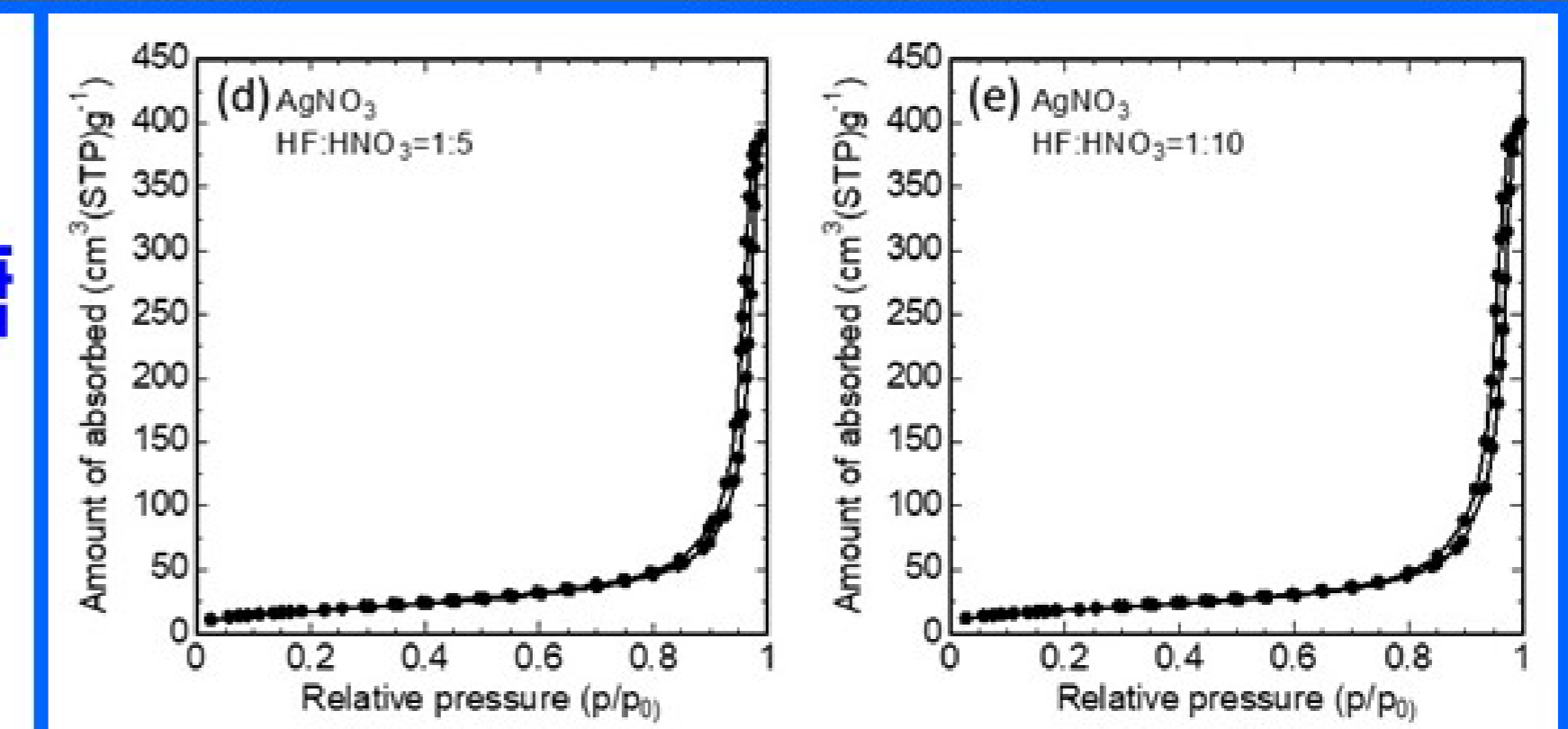


図3 HF:HNO<sub>3</sub>のモル濃度を変化させて作製したシリコンナノ粒子の吸脱着等温線

😊 シリコンナノ粒子表面への**金平糖構造の形成**に成功

😊 **30nm以上の空隙間隔**と**50m<sup>2</sup>/g以上の高比表面積**を実現

表1 HF:HNO<sub>3</sub>のモル濃度を変化させて作製したシリコンナノ粒子の平均細孔径/平均空隙径、比表面積、多孔度

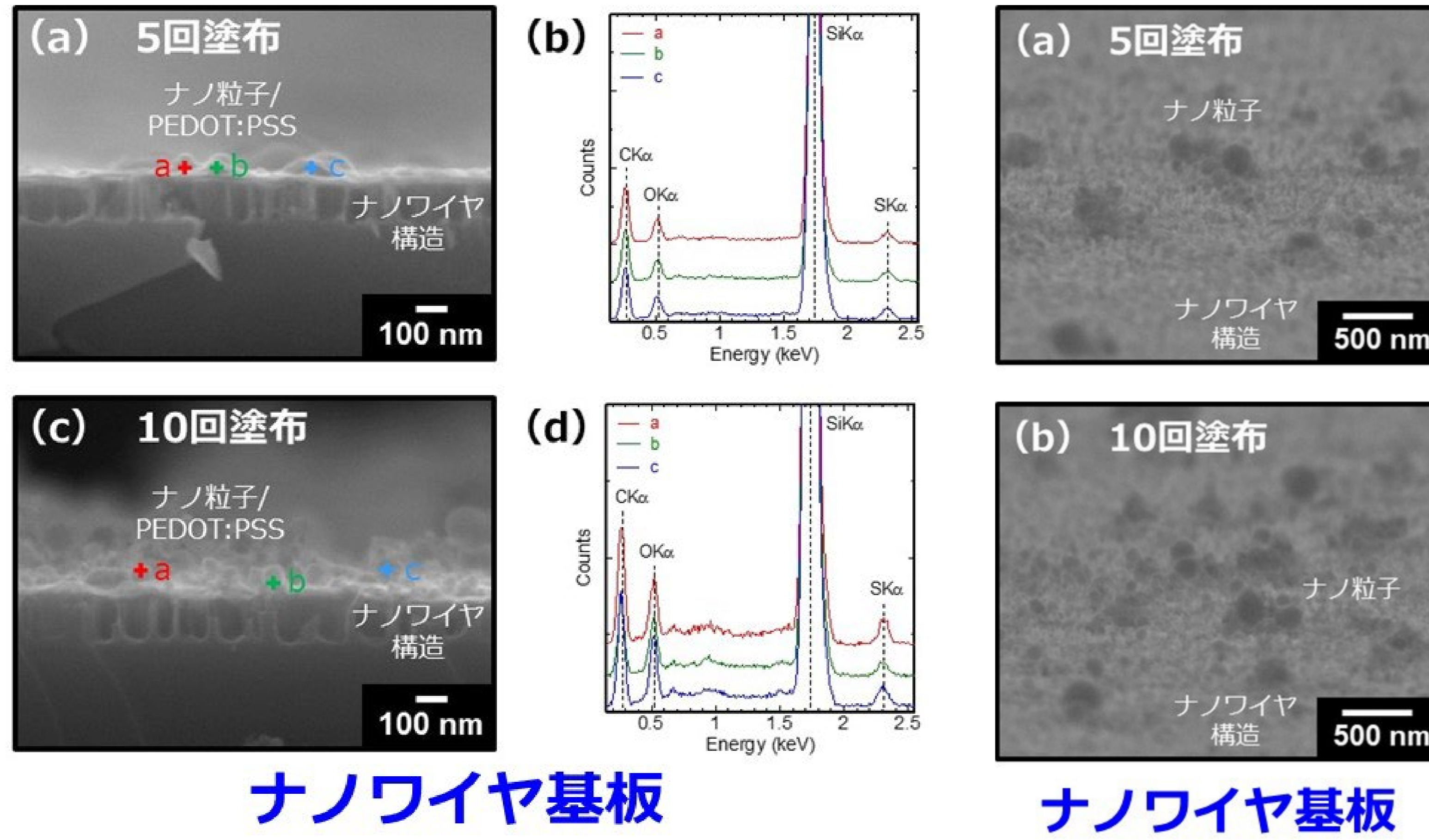
HF:HNO <sub>3</sub> モル濃度 (M)	平均細孔径/平均空隙径 (nm)	比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	多孔度 (%)
<b>細孔構造</b>			
10:1	22.2	54.5	54.2
5:1	17.9	46.1	40.4
1:1	21.2	49.6	42.1
<b>金平糖構造</b>			
1:5	28.3	65.4	60.8
1:10	31.4	64.8	57.8

# 成果 2: テクスチャー基板と電子輸送層に対する太陽電池性能

ナノ金平糖粒子の生成条件：加熱温度1100℃で処理時間60分のリン添加、HF:硝酸銀=0.115M:0.0005Mで処理時間1分、HF:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=1.0M:0.005Mで処理時間20分

粒子塗布条件：回転数3000rpm、塗布回数5回と10回（1回あたりの塗布量150μL、回転時間5秒）

ポリマー被覆条件：回転数7500 rpm、回転時間120秒、塗布回数1回



粒子配列に最適な基板形状

ナノワイヤ基板 長さ：約250nm、周期：約150nm

😊 金平糖構造への一様なポリマー被覆を達成

😊 テクスチャー基板への一様な粒子配列を達成

図4 ナノワイヤ構造基板上に塗布したシリコンナノ金平糖粒子/有機ポリマーの断面SEM像とEDS信号

シリコン基板：抵抗率1~3Ωcmと1~10Ωcm、膜厚280μm

ナノ金平糖粒子の生成条件：加熱温度1100℃で処理時間60分のリン添加、HF:硝酸銀=0.115M:0.0005Mで処理時間1分、HF:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=1.0M:0.005Mで処理時間20分

粒子塗布条件：回転数7500rpm、塗布回数3回

ポリマー被覆条件：回転数7500 rpm、回転時間120秒、塗布回数1回

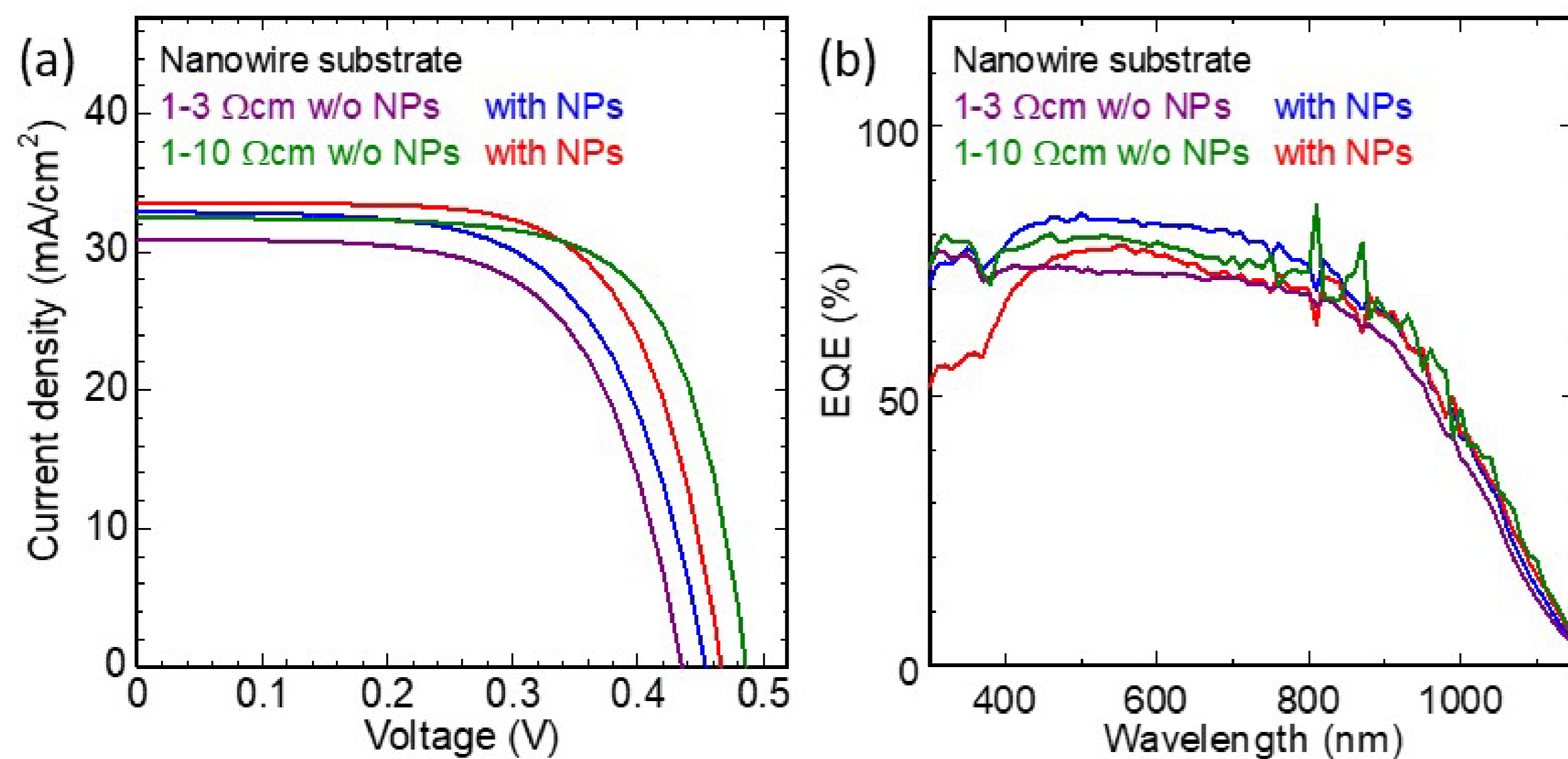


図5 ナノワイヤ構造基板に対してシリコンナノ金平糖粒子/有機ポリマーを用いた太陽電池のJ-V特性とEQEスペクトル

表2 ナノワイヤ構造基板に対してシリコンナノ金平糖粒子/有機ポリマーを用いた太陽電池のセルパラメータ

基板抵抗率 (Ωcm)	シリコンナノ金平糖粒子	短絡電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	開放電圧 (V)	曲線因子	発電効率 (%)
1-3	無	30.9	0.435	0.638	8.58
	有	32.9	0.454	0.625	9.34
1-10	無	32.5	0.486	0.696	11.0
	有	33.5	0.467	0.674	10.5

😊 ナノワイヤ基板とナノ金平糖粒子の組み合わせで高発電効率の達成

シリコン基板：抵抗率1~10Ωcm、膜厚280μm

電子輸送層：酸化チタン

酸化チタンの生成条件：高周波電力100 W、ガス圧力1 Pa、スパッタ時間5分、10分、15分でスパッタ、窒素ガス雰囲気下で加熱温度400℃と600℃、加熱時間30分

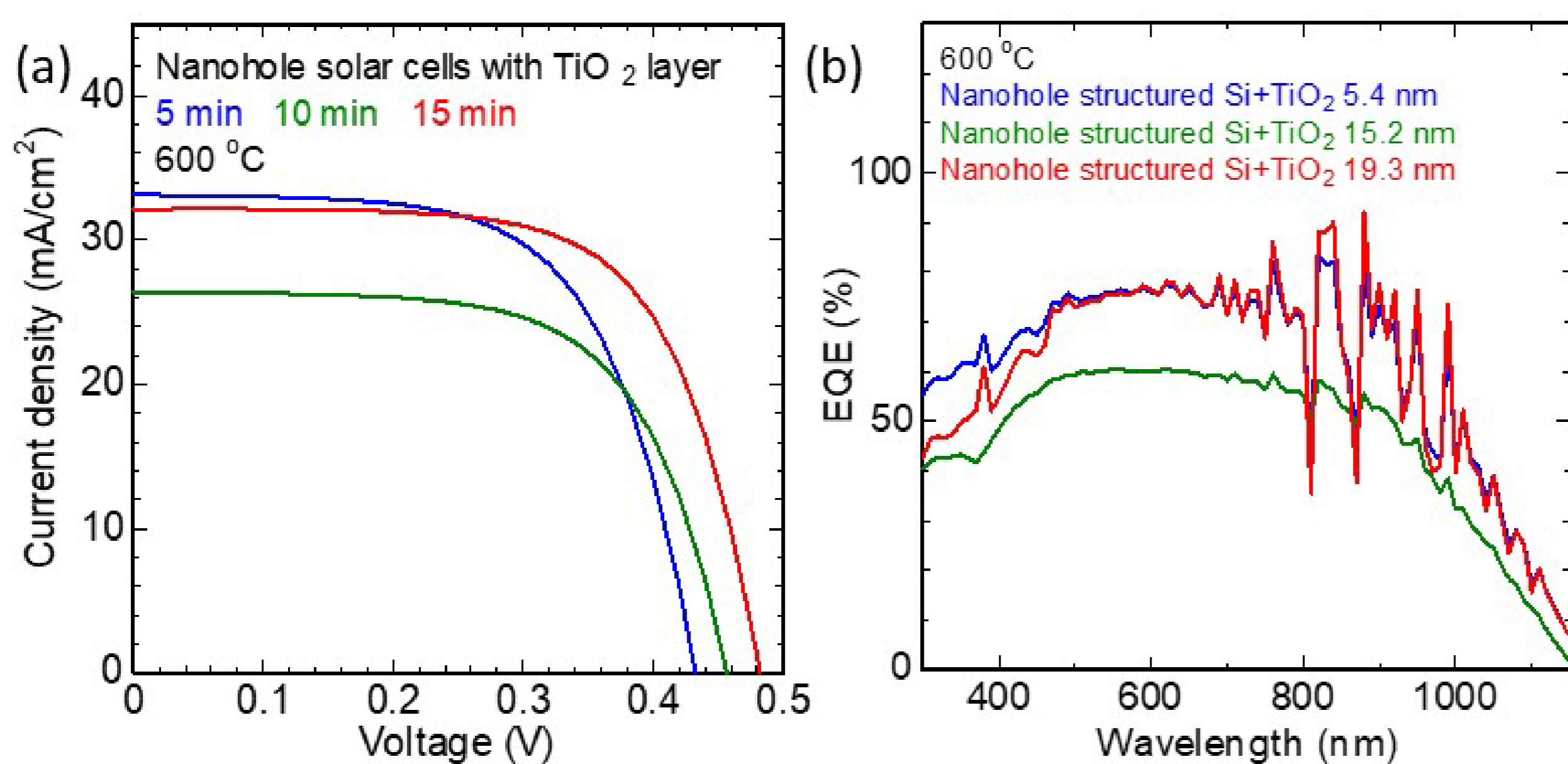


図6 電子輸送層を導入したナノホール構造シリコン基板/有機ポリマー太陽電池のJ-V特性とEQEスペクトル

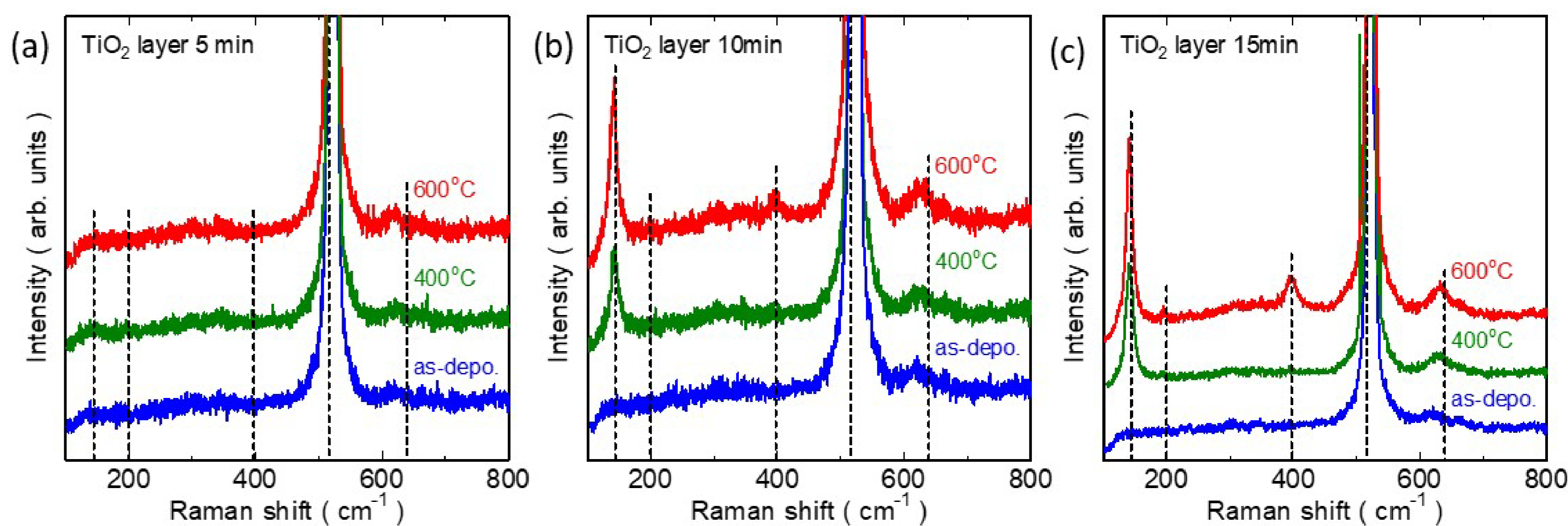


図7 スパッタ時間と加熱温度を可変させたときの電子輸送層のラマンスペクトル

表3 電子輸送層を導入したナノホール構造シリコン基板/有機ポリマー太陽電池のJ-V特性とEQEスペクトルセルパラメータ

スパッタ時間 (min)	加熱温度 (°C)	短絡電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )	開放電圧 (V)	曲線因子	発電効率 (%)
5	600	33.2	0.433	0.632	9.07
10	600	26.4	0.457	0.648	7.80
15	600	32.2	0.483	0.667	10.4

😊 15分でのスパッタと600℃での加熱により酸化チタン層のアンターゼ構造化とその結晶度の向上の実現

😊 15分でのスパッタと600℃での加熱により高発電効率の達成

得られた成果

お問い合わせ先

- ナノ粒子表面への金平糖構造の創製技術を確立
- 金平糖構造への一様なポリマー被覆と基板への一様な粒子配列を実現
- ナノワイヤ基板と電子輸送層の最適化による高発電効率を実現

〒120-8551  
東京都足立区千住旭町5番  
東京電機大学 工学部 電気電子工学科 ナノエネルギー研究室  
佐藤 慶介  
E-mail: satok@mail.dendai.ac.jp  
Web site: <http://www.eee.dendai.ac.jp/eee/lab/sato/sato.html>