

課題番号 : F-21-UT-0047  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名(日本語) : カーボンナノチューブ構造制御のための成長速度分析  
 Program Title (English) : Analysis on the growth kinetics of carbon nanotubes for structure control  
 利用者名(日本語) : 大塚慶吾, 石丸亮哉, 丸山茂夫  
 Username (English) : K. Otsuka, R. Ishimaru, S. Maruyama  
 所属名(日本語) : 東京大学大学院工学系研究科  
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, The University of Tokyo  
 キーワード/Keyword : カーボンナノチューブ, リソグラフィ・露光・描画装置, 分析

## 1. 概要(Summary)

単層カーボンナノチューブ(CNT)をチャンネルに用いた電界効果トランジスタは、微細化のポテンシャルだけでなく、速度や消費電力の面でも従来のシリコンを凌駕しうる。その潜在能力を発揮するためには、カイラリティと呼ばれるCNTの幾何構造を制御することでその電子構造を揃える必要があるため、CNT成長過程における速度論的選択性の解明が求められる。本研究では、CNTの触媒成長における炭素原子の収支を定量的に捉えることで、成長速度の支配的要因をガス組成の観点から明らかにし、広範な合成法へと一般化を試み、合理的な構造制御合成への指針を提供することを目指す。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

高速大面積電子線描画装置, LL式高密度汎用スパッタリング装置, クリーンドラフト潤沢超純水付, ステルスダイサー, 光リソグラフィ装置 MA-6

### 【実験方法】

単結晶水晶基板に光リソグラフィを用いてパターンした金属触媒からCNTを成長する。熱酸化膜付きSiウエハに対し電子線描画を行い、スパッタリング装置により金属を堆積させることでマーカーを形成した。このSi基板上に成長したCNTを転写し、偏光光学イメージングやラマン分光法により観察を行い、速度論的な情報を取得し、分析を行った。

## 3. 結果と考察(Results and Discussion)

CNT成長の炭素源として、炭素原子と酸素原子の両方を含むエタノールと、酸素を含まないアセチレンを用いた。特にエタノールの同位体比率を時間とともにスイッチングすることで、成長速度を空間的な分布とラマン散乱の

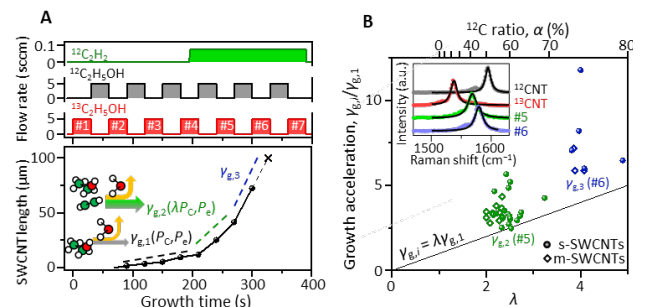


Fig.1 (A) Flow rates of carbon sources (top) and a corresponding growth curve of a typical CNT (bottom). (B) Relationship between carbon multiplication factor  $\lambda$  and growth acceleration factor. Inset: Raman spectra of isotope labels.

スペクトル情報の両側面から分析可能となり、1本ずつのCNTに対し炭素原子の収支を定量的に捉えることができる。

Fig. 1Aに示すように、エタノールのみから成長するCNTに対し、途中で少量のアセチレンを添加すると、成長速度が増加した。同位体ラベルのラマンスペクトルからアセチレンによって炭素供給量が $\lambda$ 倍されたことがわかり、ラベル間の距離から割り出される速度増加率と比較することで(Fig. 1B)、エタノール中の酸素原子によるエッチングの寄与を抽出できた。これをもとに新たな成長モデルを構築することでCNTの成長速度論を一般化することに成功し、カイラリティ制御への明確な指針が得られた。

## 4. その他・特記事項(Others)

競争的資金：本研究は科研費JP20K15137, JP20H00220の支援を受けた。

## 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし

## 6. 関連特許(Patent)

なし