

# 単層カーボンナノチューブのナノリング起源カイラリティ制御成長

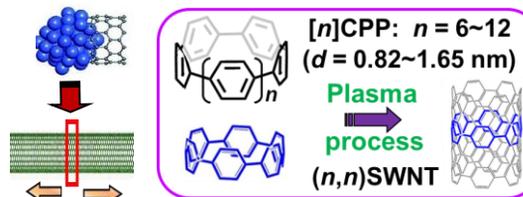
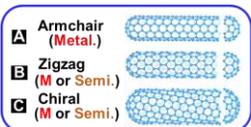
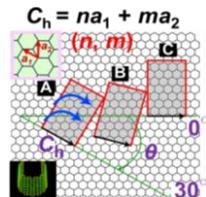
## Chirality-Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes Using Nanorings

東北大未来科学技術<sup>1</sup>, 東北大学際科学<sup>2</sup>, 東北大理<sup>3</sup> ○島山 力三<sup>1</sup>, 上野 裕<sup>2,3</sup>, 権 垣相<sup>3</sup>, 美齊津 文典<sup>3</sup>

### 研究背景と目的

単層カーボンナノチューブ(SWNT)の側壁構造を指すカイラリティ( $n, m$ )の制御は、その発見当初以来30年以上に亘る究極的挑戦課題である。

本研究では、炭素六員環単一輪のナノリング(CPP)への低温プラズマプロセスの駆使により、本課題解決を目指す。



### 実験方法

#### 実験装置

#### 実験パラメータ

$C_2H_5OH$ : (0.4 ~ 10) $\times 10^2$ Pa	Mild	Harsh
$H_2$ : (0.8 ~ 3.2) $\times 10^2$ Pa	$10^8$	$10^9$
$H_2O/Ar$ : (0 ~ 2.1) $\times 10$ Pa	0.3	2.0
$T_{sub}$ : 150 ~ 1000 °C	> -5	-15 ~ -5
RF power: 0 W (TCVD), 10 ~ 100 W (PECVD)	< 5	5 ~ 15
	$V_{sub}$ (V)	$U_i$ (eV)

#### サンプル作製手順

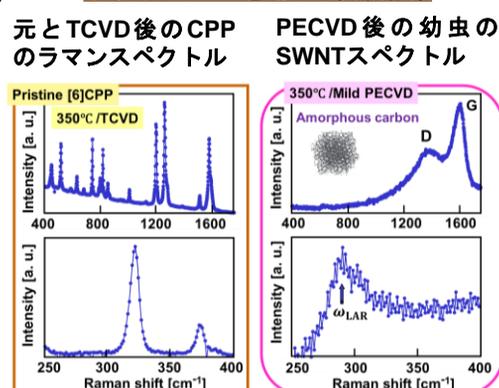
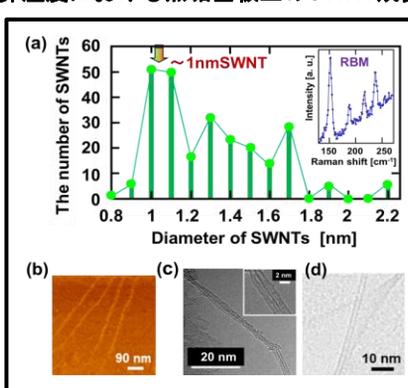
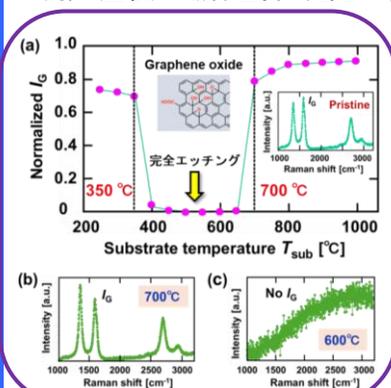
#### 観測・解析手法

### 結果と考察

#### 周囲(基板)の臨界温度の発見

#### 臨界温度における無垢基板上的SWNT成長

#### 以下は、CPPsを用いた実験結果



酸化グラフェンへの水素主体プラズマ照射: 350&700°Cで、SWNT成長阻害・促進のエッチング・堆積間の平衡成立予測。

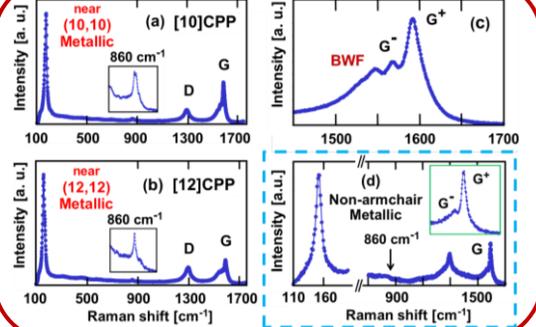
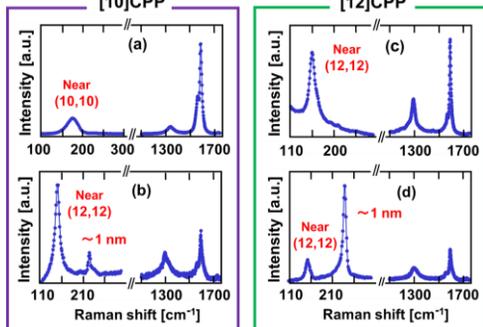
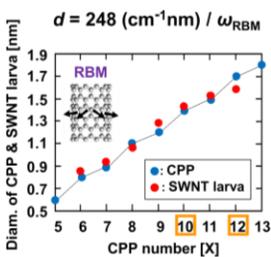
700°C・無垢SiO<sub>2</sub>・C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH/H<sub>2</sub>触媒無使用PECVD: ~1 nmをなだらかなピークとして非常に広い直径分布のSWNT成長を観測。

350°C・[6]CPP on sapphire・C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH/H<sub>2</sub>: (左) TCVD前後の不変なスペクトル。(右) PECVD後の低波数帯(RBM)と高波数帯(aC)の観測 [幼虫SWNT]。

#### CPPと幼虫SWNT直径の比較

#### 臨界温度700°C/[10]&[12]CPP: SWNTs

#### (a)~(c) 臨界温度350°C/[10]&[12]CPP: SWNTs



幼虫SWNTのRBM波数帯のピーク $\omega_{LAR}(=\omega_{RBM})$ から算出された直径 $d$ (上式)と、前駆体分子 $n=6 \sim 12$ のCPPsの直径との比較。

700°C・PECVDにおけるカイラリティ種類が複数のSWNTs成長: (左) near (10,10), (12,12), さらに~1 nmの3種類のSWNTs成長。(右) near (12,12)とそれに~1 nmが加わる2種類のSWNTs成長。

350°C・PECVDにおけるカイラリティ種類が唯一種のSWNT成長。(a) [10]CPP: near (10,10) metallic、(b) [12]CPP: near (12,12) metallic SWNTの成長。(c) G-bandの詳細でmetallicを示す。(d) 比較のための700°C自然成長の例。

### 結論

エッチングと堆積が平衡状態にある臨界周囲温度のマイルド(低電子温度・流束)プラズマプロセスにより、これまでで最も低い温度の350°C下で、ナノリングからの near (10,10)と(12,12) metallic SWNTsの単一カイラリティ成長を初めて実現した。詳細は、Appl. Phys. Express 17, 096003 (2024)をご参照。