

「カーボンナノチューブ・グラフェンの応用研究最前線」

目次

序論 (丸山茂夫)

1. はじめに
2. フラーレン・ナノチューブ・グラフェン
3. なぜナノカーボンなのか？
4. CNT・グラフェンの合成技術と評価技術
5. CNTの分散・分離とアセンブリ
6. ナノカーボンのデバイス応用
7. おわりに

第1編 製造／分散／評価技術

第1章 CNT・グラフェンの合成技術

第1節 CVD合成

第1項 アルコールCVD法 (丸山茂夫)

1. はじめに
2. アルコールCVD法
3. アルコールCVD法によるバルク合成
4. 垂直配向SWCNT合成
5. 小径の垂直配向SWCNT合成
6. 水晶基板上の水平配向SWCNT
7. パターン合成と電界効果トランジスタ
8. W-Co触媒によるカイラリティ制御合成

第2項 流動層CVD (野田優)

1. CVD法における流動層法の位置づけ
2. 開発の歴史と現状
3. 長尺CNTの流動層合成技術

第3項 グラフェンCVD法 (寺澤知潮, 斉木幸一朗)

1. はじめに
2. 前駆体の生成
3. 成長前駆体の重合
4. おわりに

第4項 高品質グラフェンのCVD成長 (吾郷浩樹)

1. はじめに
2. グラフェンの成長メカニズム
3. CVDグラフェンのグレイン構造
4. 単結晶グラフェン合成に向けた指針
5. ヘテロエピタキシャルCVD法
6. Cu(111)上のグラフェンのグレイン構造
7. 巨大グレインのCVD合成
8. おわりに

第2節 CNT大量合成

第1項 特長的な構造と性質を実現する垂直配向単層カーボンナノチューブフォレストの高効率成長のための最適点 (畠賢治)

1. はじめに
2. CNTフォレストの可能性と産業化の課題
3. CNTフォレストの高効率成長のための条件を探る
4. CNTフォレスト成長の「最適点」の詳細分析
5. 高効率成長で創出されるCNTフォレストの特徴
6. 最適点を見出すための触媒の制御
7. 結論

第2項 CNTの製造技術概論 (斎藤毅)

1. カーボンナノチューブの製造プロセス
2. CNT成長のための触媒

3. CNTのCVD製造プロセスにおける触媒導入方法
4. SWCNTのCVD合成に適する炭素源
5. SWCNTのCVD合成における構造制御性
6. まとめ

第3節 グラフェン・酸化グラフェン大量合成

第1項 SiC上エピタキシャルグラフェンの合成 (楠美智子, 乗松航)

1. はじめに
2. SiC上エピタキシャルグラフェンの成長
3. エピタキシャルグラフェンの構造的特徴
4. エピタキシャルグラフェンの電気的特性
5. SiC表面ステップ構造の影響
6. おわりに

第2項 大面積高速合成 (長谷川雅考)

1. はじめに
2. 極低炭素濃度プラズマCVDの開発
3. 2層グラフェンの合成
4. 光透過率とシート抵抗
5. 大面積グラフェン合成技術の開発

第3項 酸化グラフェン大量合成 (仁科勇太)

1. 酸化グラフェンが着目されるゆえん
2. 酸化グラフェンの構造
3. 酸化グラフェンの合成法
4. 酸化グラフェン合成の際に注意すべき点
5. 酸化グラフェンの構造と物性の制御
6. まとめ

第2章 分散技術

第1節 分散剤開発 (中嶋直敏)

1. はじめに—CNT可溶化(分散)の重要性
2. 化学修飾可溶化(共有結合を利用した可溶化)
3. 物理修飾可溶化(非共有結合を利用した可溶化)
4. 半導体性SWCNTと金属性SWCNTを分離する分散剤
5. まとめ

第2節 CNTの孤立分散 (古月文志)

1. はじめに
2. CNTのネットワーク
3. CNTの孤立分散
4. 応用例
5. 結論

第3章 分離技術

第1節 密度勾配遠心分離法 (柳和宏)

1. はじめに
2. 筆者らによる直径1.4nmの金属型・半導体型分離
3. ショ糖やセシウムクロライドを密度勾配剤として用いた分離
4. まとめ

第2節 ゲルを用いた単層CNTの分離 (田中丈士)

1. はじめに
2. アガロースゲルを用いたCNTの金属型・半導体型分離
3. デキストラン架橋ゲルを用いた構造分離
4. 最近のトピックス

5. まとめ
- 第3節 水性二相系（ATP）分離（大町遼，北浦良，篠原久典）
1. はじめに
 2. 金属半導体分離
 3. カイラリティ分離
 4. CNT 孤立分散液の調整
 5. ATP 分離した CNT の電子デバイス応用
 6. おわりに

第4章 分析/評価技術

- 第1節 SEM 観察/PL 分光（本間芳和）
1. はじめに
 2. カーボンナノチューブの SEM 観察
 3. グラフェンの二次電子像
 4. 単一単層 CNT の蛍光分光分析
 5. おわりに
- 第2節 CNT の分光分析（松田一成）
1. はじめに
 2. CNT の1次元電子構造と発光
 3. まとめ
- 第3節 ラマン分光
- 第1項 CNT における観察/評価（千足昇平）
1. ラマン散乱
 2. 単層カーボンナノチューブのラマン散乱スペクトル
 3. 共鳴ラマン散乱効果と片浦プロット
 4. ラマンスペクトルの環境依存性
- 第2項 ラマン分光法によるグラフェンの構造評価とイメージング（小林慶裕，奥野義人，尾崎幸洋，中田靖）
1. はじめに
 2. グラフェンのラマンスペクトルの特徴
 3. 欠陥・結晶性
 4. 層数・積層構造
 5. グラフェンのラマンイメージング
- 第4節 TEM 分析（千賀亮典，末永和知）
1. はじめに
 2. STEM-EELS
 3. カーボンナノチューブ内包原子鎖
 4. 軽元素の可視化
 5. モノクロメーター搭載電子顕微鏡
 6. 高分解能 EELS によるカーボンナノチューブの評価
 7. おわりに
- 第5節 低エネルギー電子顕微鏡によるグラフェンの構造解析（日比野浩樹）
1. 低エネルギー電子顕微鏡
 2. グラフェン成長法
 3. LEEM のコントラスト生成機構
 4. 金属基板上でのグラフェン CVD 成長機構
 5. CVD 法によるグラフェンのエピタキシャル成長
 6. エピタキシャル 2 層グラフェンの積層構造
 7. 電子反射率スペクトルの振動構造を用いたグラフェンの層数評価
 8. グラフェン以外の 2 次元物質への展開
- 第6節 電界効果トランジスタにおけるゲートスタック形成と評価（長汐晃輔）
1. はじめに
 2. Si-MOSFET の問題点と 2 次元 FET の特徴
 3. ゲートスタック形成

4. 評価技術としての量子容量計測
5. おわりに

第2編 用途開発

総論 用途開発の現状と展望（角田裕三）

1. はじめに
2. 用途開発の現状
3. 展望と成功への鍵

第1章 導電材料開発

- 第1節 CNT 透明導電膜開発（周英，阿澄玲子）
1. はじめに
 2. CNT 透明導電膜の作製技術
 3. ドーピング技術
 4. おわりに
- 第2節 グラフェン透明導電膜利用技術開発（沖川侑揮，長谷川雅考）
1. はじめに
 2. ホール移動度と結晶品質の関係
 3. グラフェン透明導電膜を利用した高分子有機 EL 素子の作製
 4. まとめ
- 第3節 高純度 2 層 CNT 透明導電 PET フィルム開発（西野秀和）
1. はじめに
 2. 2 層 CNT
 3. 2 層 CNT の透明導電フィルムへの応用展開
 4. 2 層 CNT（トカーナ.）透明導電フィルムの用途展開
 5. おわりに

第2章 半導体デバイス開発

- 第1節 ウエハスケール・トップダウン加工でのグラフェントランジスタ試作（中払周，小川真一，塚越一仁，佐藤信太郎，横山直樹）
1. はじめに
 2. 新しいグラフェントランジスタの構造と動作原理
 3. ウエハスケールでのトップダウンプロセスによるトランジスタ試作
 4. 室温における極性可変トランジスタ動作
 5. まとめ
- 第2節 ナノカーボン材料の半導体デバイスへの応用（佐藤信太郎）
1. はじめに
 2. グラフェンのトランジスタ応用
 3. グラフェンの配線応用
 4. おわりに
- 第3節 単層カーボンナノチューブの熱電物性—電気二重層キャリア注入によるナノチューブの熱電物性の制御（柳和宏）
1. はじめに
 2. 電気二重層キャリア注入法（電気化学ドーピング法）による SWCNT の物性制御
 3. 電気二重層キャリア注入法による SWCNT の熱電物性の制御
 4. おわりに
- 第4節 伝熱材料技術（栗野祐二）

1. はじめに
2. 半導体 3次元実装のための thermal management デバイス
3. ナノカーボンの熱伝導率測定
4. 基板垂直配向成長技術—TIM, TSV, bump 応用のための材料技術
5. まとめ

第5節 CNT 薄膜トランジスタ (大野雄高)

1. はじめに
2. 高移動度 TFT を実現する CNT 薄膜
3. プラスチック基板上の CNT 集積回路
4. 全カーボン集積回路
5. 印刷プロセス
6. まとめと今後の展望

第6節 電界効果トランジスタ開発 (二瓶史行)

1. はじめに
2. CNTFET とは
3. CNTFET を用いた集積回路
4. CNTFET 開発の課題
5. 今後の展望

第7節 フレキシブルトランジスタ開発 (蒲江, 竹延大志)

1. はじめに
2. フレキシブルエレクトロニクスを担う材料
3. 電気二重層トランジスタ (EDLT)
4. フレキシブルカーボンナノチューブトランジスタ
5. フレキシブル原子層薄膜トランジスタ
6. まとめ

第8節 CNT 薄膜を透明電極として用いた有機太陽電池の開発 (松尾豊)

1. はじめに
2. カーボンナノチューブ薄膜を透明電極とするインジウムを用いない有機薄膜太陽電池
3. カーボンナノチューブ薄膜を透明電極とする有機金属ペロブスカイト太陽電池
4. おわりに

第9節 CNT-シリコン太陽電池 (丸山茂夫)

1. はじめに
2. CNT-シリコン太陽電池
3. ドライデポ法 SWCNT 薄膜による透明導電膜
4. マイクロハニカム SWCNT 薄膜による透明導電膜
5. CNT-シリコン太陽電池の作成
6. ドライデポ SWCNT 膜を用いた CNT-シリコン太陽電池の評価
7. マイクロハニカム SWCNT 膜を用いた CNT-シリコン太陽電池の評価
8. その他の展開
9. まとめ

第3章 複合材料開発

第1節 CNT 銅複合材料 (関口貴子)

1. 研究背景
2. 電気めっき法による CNT 銅複合化技術
3. CNT 銅複合材料の特性
4. まとめ

第2節 CNT 含有耐熱ゴム材開発 (阿多誠介)

1. 背景
2. ゴムの耐熱性改善指針
3. ゴムの耐熱性などの改善事例

4. 耐熱性, 耐熱水性に優れた CNT 複合材料の作成法
5. まとめ

第3節 生体用 CNT 複合素材開発—CNT 複合アルミナセラミックスの開発 (青木薫, 齋藤直人, 樽田誠一, 荻原伸英, 西村直之)

1. CNT の生体親和性
2. CNT 複合アルミナセラミックスの開発
3. まとめ

第4節 CNT 含有燃料電池開発 (藤ヶ谷剛彦)

1. はじめに
2. 燃料電池耐久性の向上
3. 電極触媒における白金利用率の向上
4. おわりに

第5節 燃料電池向け多層 CNT 含有触媒の開発 (脇慶子)

1. 背景
2. MWCNT の欠陥形成
3. MWCNT の酸素還元活性
4. おわりに

第6節 SWCNT と機能性分子からなる複合体蓄電デバイス電極 (川崎晋司)

1. はじめに
2. 二次電池
3. キャパシタ
4. おわりに

第7節 長尺 CNT 低含有高機能フッ素樹脂複合材開発 (坂井徹)

1. 本開発の背景
2. 長尺 CNT の特徴, 仕様, 製造方法
3. CNT 低含有高機能フッ素樹脂
4. 今後の展開について
5. まとめ

第4章 CNT スピニング技術

第1節 ナノチューブの糸づくり (中山喜萬)

1. はじめに
2. 繊維の種類
3. 繊維を糸に
4. ナノチューブを糸に
5. おわりに

第2節 ドライドロー CNT とその応用例 (Raquel Ovalle, Marcio Lima, 井上閑山)

1. CNT (カーボンナノチューブ) 小史
2. CNT の垂直配向成長
3. セルフアセンブリによる CNT シートのドライドロー (DryDraw™) プロセス
4. CNT シート (cSilk™)
5. CNT 糸 (cYarn™)

第3節 CNT 線材 (林靖彦)

1. はじめに
2. 線材化プロセス: ウェットプロセスとドライプロセス
3. 紡糸性の高い長尺・高密度で垂直配向 CNT アレイの成長
4. CNT 線材の基礎物性と物性向上
5. まとめ

第4節 紡績性 CNT アレイの合成と CNT アセンブリ (井上翼)

1. はじめに
2. 高配向高密度 MWCNT の CVD 成長
3. CNT 紡績糸
4. 一方向配向 CNT シート

5. おわりに
- 第5節 高密度化無撚CNT系複合材料（川田宏之）
 1. はじめに
 2. MWCNTの合成
 3. 無撚CNT系の作製
 4. 無撚CNT系の高密度化処理
 5. まとめ

第5章 その他用途開発

- 第1節 超滑水CNT複合樹脂シート材の開発（柳澤憲史）
 1. はじめに
 2. 超滑水CNT複合樹脂シート材のはっ水性
 3. 超滑水CNT複合樹脂シート材の滑水性
 4. おわりに
- 第2節 CNT層を施した通電ガラス開発（高田知哉）
 1. はじめに
 2. 物理的処理によるCNT層の作製法
 3. 化学結合によるCNT層の作製法
 4. CNT層の性質に対する各種処理の影響
 5. まとめ
- 第3節 CNTインキを印刷した面状発熱体「ECOiシートヒーター」開発（平木博久，佐藤由希）
 1. はじめに
 2. ECOiシートヒーター
 3. 他方式ヒーターとの比較
 4. おわりに
- 第4節 シリコンチップ上超小型CNT発光素子開発（牧英之）
 1. はじめに
 2. CNT黒体放射発光素子
 3. CNT-EL発光素子
 4. おわりに
- 第5節 長尺MWCNTシートを用いた薄型ストレッチャブル動ひずみセンサの開発と応用（鈴木克典）
 1. はじめに
 2. 抵抗変化型ストレッチャブル動ひずみセンサ
 3. 製造プロセス，構造，動作原理
 4. CNTひずみセンサの特性
 5. 動作原理
 6. 伸縮配線技術
 7. 応用提案と応用事例
 8. おわりに
- 第6節 ナノカーボン高分子アクチュエータに関する研究開発（杉野卓司，安積欣志）
 1. はじめに
 2. 高分子アクチュエータ
 3. ナノカーボン高分子アクチュエータの構成と変形メカニ

- ズム
 4. ナノカーボン高分子アクチュエータの応答性改善：電極の改良
 5. ナノカーボン高分子アクチュエータの応用への取組み
 6. おわりに
- 第7節 高品質多層グラフェンの作製と加速器ビームセンサへの応用（村上睦明）
 1. はじめに
 2. 多層グラフェンの電気・熱物性
 3. 高分子焼成法による高品質多層グラフェンの開発
 4. 多層グラフェンを用いた加速器ビームセンサ
 5. おわりに
- 第8節 カーボンナノホーン用途開発（弓削亮太，湯田坂雅子）
 1. はじめに
 2. カーボンナノホーン用途開発
 3. おわりに
- 第9節 CNT紡績糸（矢野史章）
 1. はじめに
 2. 糸の製造工程
 3. CNTヤーンとその糸構造
 4. これまでの実績
 5. 今後の展望
 6. おわりに

第3編 リスク管理と評価

- 第1章 ナノマテリアルのリスク評価と法規制の動向（岸本充生）
 1. 化学物質のリスク評価の方法
 2. ナノマテリアルをめぐる法規制の動向
 3. レギュラトリーサイエンスとしての展開
 4. おわりに
- 第2章 ナノマテリアルの工業化における安全指針（鶴岡秀志）
 1. はじめに
 2. 国内外の動向
 3. 今後必要となる取組み
 4. まとめ
- 第3章 労働環境における炭素系ナノマテリアルのリスク管理（小野真理子）
 1. はじめに
 2. 労働環境におけるリスクアセスメント
 3. リスク管理