

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)① CFRP

材料名	用途・適用先		KPI			目標達成に向けた課題/その他	参考資料
	搭載する製品等	仕様	指標	目標値	現状		
CFRP	次世代自動車	従来自動車比で軽量化率60%	加工効率	約10年後 タクトタイム1分 (部品1個あたり)	タクトタイム8時間(部品1個あたり)	熱可塑性CFRPの自動車への適用技術(材料特性評価技術、設計理論、加工技術)の確立・炭素繊維の生産効率の大幅な向上	1-①

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)② CNT

材料名	用途・適用先		KPI			目標達成に向けた課題/その他	参考資料
	搭載する製品等	仕様	指標	目標値	現状		
多層CNT	Liイオン電池電極	電池寿命：4000サイクル 充電で電池容量を80%以上維持	価格	5000円/kg	20000円/kg	高純度 高分散性	
	電子デバイス容器	10 ⁵ Ωcmの複合材	価格	3000円/kg	8000円/kg	高分散性	
単層CNT	(基幹素材)		電気特性	中期目標 ~500 S/cm 長期目標 ~5000 S/cm	市販単層CNT: 50 S/cm eDips単層CNT: 500 S/cm スーパーステージ単層CNT:50 S/cm	高結晶化技術 量産化技術	1-④
			価格		基幹素材化時を1としたときに 市販単層CNT: 数万 eDips単層CNT: 約1000 スーパーステージ単層 約100	高結晶化技術 量産化技術	1-④

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)③-1 グラフェン

材料名	用途・適用先		KPI			目標達成に向けた課題/ その他	参考資料
	搭載する製品等	仕様	指標	目標値	現状		
グラフェン	導電膜利用		電気特性	中期目標 100Ω/sq 長期目標 30Ω/sq	市販グラフェン 100～ 1000Ω/sq	高結晶化技術 量産化技術	1-④
			価格		基幹素材化時を 1としたときに 市販グラフェン: 数万	高結晶化技術 量産化技術	1-④
サファイア基板(参考)	青色系可視光LEDチップ(白色LED用パッケージ)	2～4インチウエハ	価格	2020年頃 400円/枚 (2インチウエハベース)	700円/枚 (2インチウエハベース)	現在の主流は2インチウエハ(全体の約7割)。実用化ベースでは4インチウエハも25%程度まで伸びてきている。大口径化によりLEDチップ製造のコスト削減を狙うが現状の歩留まりでは生産効率が下がる。 LED照明用チップ(白色LED用パッケージ)のコスト低下目標は1.50～1.58円/個	1-②
シリコンウエハ(参考)	ロジック用デバイス	12インチウエハ	価格	-	12000～ 27000円/枚 (平均1.09米ドル/平方インチ)表面処理等の仕様により1.4～3倍	シリコンウエハは用途により、サイズ、仕様等が異なり、コスト指標を定めることが難しい。先は出荷面積と出荷額から算出した4～12インチウエハの平均単価にロジック用デバイスの主流である12インチ、エピタキシャル基板を想定した数値。それでも仕様に価格がことなるため大きな差が生じる。	1-③

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)③-2 グラフェン

技術区分	技術課題・目標		KPI(本格的な研究の進展、企業の参入)			目標達成に向けた課題解決の方策例	参考資料
	技術課題	目標	指標	目標	現状		
共通基盤	高品質グラフェン膜の形成技術(結晶成長、合成、剥離など)	大面積の単結晶グラフェン薄膜形成	結晶性	既存ウエハ上へのドメインフリー単結晶グラフェン膜形成	小面積、多結晶グラフェン膜	・適切な基板や触媒の選択によるCVD成長 ・大面積SiC基板を用いたSiの昇華 ・ロールtoロール生産と機械的剥離・転写	2
	グラフェンのバンドギャップ、キャリア濃度(導電型、抵抗値)の制御技術	メカニズムに基づいたバンドギャップ、キャリア濃度の自由な制御	電気特性制御性	電気特性の制御原理と方法の明確化	一部で理論予測、実験	・自己組織化や触媒によるグラフェン膜層数の制御 ・不純物ドーピング、表面吸着によるキャリア制御 ・界面修飾、エッジ修飾	2
	グラフェンの高精度、低ダメージの加工プロセス技術	デバイスに必要な加工精度と電気特性の両立	加工精度と品質	生産性、コストに問題の無い具体的な加工方法の提示	基本的な特性を調べるための加工	・低ダメージのプラズマ・ラジカルエッチング ・加工プロセスのシミュレーション	2
	電極との低抵抗コンタクト、保護膜技術	電極とのコンタクトの低抵抗化、および保護膜による特性不安定化抑制	低抵抗コンタクト、特性安定性	デバイス特性を満足する現実的な手法の提示	一部で理論予測、実験	・金属とのコンタクト特性の理論的、実験的解明 ・保護膜との界面の理論的、実験的解明 ・各種電極形成手法、保護膜手法の実施	2
	グラフェンの構造、物性の評価、特性予測技術	グラフェン自身や他材料との界面特性の理解	物性の理解度	品質を保証できる物性や現象の理解	一部で物性・特性の理論予測、評価	・実験にリンクしたモデリングやシミュレーション ・ナノレベルの評価と解析	2

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)③-3 グラフェン

技術区分	技術課題・目標		KPI (本格的な研究の進展、企業の参入)			目標達成に向けた課題解決の方策例	参考資料
	技術課題	目標	指標	目標	現状		
透明電極・導電膜	高い透明度(光透過率)と低電気抵抗(シート抵抗)を両立するグラフェン膜の形成技術	ITOの特性を超える高い透明度と低電気抵抗の実現	透明度×電気抵抗	光透過度97%以上と、ITOの数倍以上の低抵抗特性	一部で透明電極の試作	・層数の設計と制御 ・キャリア濃度制御 ・膜欠陥制御	2
	金属電極との低抵抗コンタクト技術	グラフェン膜抵抗に影響を与えない低コンタクト抵抗の実現	コンタクト抵抗	低抵抗性と経済性に優れた電極材料、形成プロセス	一部で実験	・コンタクト特性の理論的解明 ・各種金属材料、ヘテロ構造の検討	2
	大面積グラフェン膜形成技術	ディスプレイ等応用するデバイスの大きさを実現	面内均一性	基板前面にわたってばらつきの無い電気特性	大面積ウエハ上での形成実験	・基材の表面処理 ・CVD等成膜メカニズムの解明 ・成膜装置の大型化	2
	量産化対応のプロセス技術	コストや安全性に問題の無いプロセスの実現	量産性	他技術との比較で、魅力的な性能・コスト	基本的な特性評価のレベル	・パターン形成 ・早期の安全性評価 ・ステップ数の少ないプロセス開発	2

カーボン系材料のKPIについて(検討用資料)③-4 グラフェン

技術区分	技術課題・目標		KPI (本格的な研究の進展、企業の参入)			目標達成に向けた課題解決の方策例	参考資料
	技術課題	目標	指標	目標	現状		
超高速・高集積トランジスタ/テラヘルツデバイス	超高速トランジスタの構造・プロセス技術	テラヘルツ領域の動作実証	適切なバンドギャップの半導体特性	0.5V程度以上のバンドギャップ形成	基本的にはゼロギャップナリボン、2層グラフェンで半導体化	・チャンネル幅をnmサイズにするリボン化 ・エッジ制御 ・2層グラフェンへの電界印加	2
			キャリア移動度	Siの100倍程度の移動度	Siより10倍程度優れた移動度を観測	・結晶性の向上(欠陥や不純物の低減) ・加工によるダメージの低減	2
	高集積トランジスタプロセス技術	大面積ウエハの高集積・低消費電力ロジック、メモリ回路の形成	ウエハ均一性	大面積Siウエハ上への均一な高移動度グラフェン膜形成	基礎的な実験	・単結晶グラフェン成長の大面積化 ・成膜装置の大型化	2
			しきい値制御性	p型、n型チャネルのしきい値を自由に制御	単体の素子試作	・チャンネルドーピング ・ゲートスタック	2
		低消費電力特性	CMOS回路、スピントロニクス回路等での低消費電力特性	単体の素子試作	・し特性制御、設計可能なデバイスの開発	2	
		量産性	現状のSiや他技術との比較で、魅力的な性能・コスト	基礎的な特性評価のレベル	・装置メーカーを取り込んだ、総合的なプロセス開発	2	