

Title	第10回科学技術予測調査：マテリアル・デバイス・プロセス分野
Author(s)	蒲生，秀典
Citation	年次学術大会講演要旨集，29：887-890
Issue Date	2014-10-18
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12586
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

第 10 回科学技術予測調査 ～マテリアル・デバイス・プロセス分野～

○蒲生秀典（科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター）

1. はじめに

科学技術・学術政策研究所では、第 5 期科学技術基本計画策定に向けた議論に資することを目的として、第 10 回科学技術予測調査を実施している。その一環として、社会課題解決やイノベーション創出への寄与が期待される科学技術の抽出と、それら科学技術発展の方向性の調査・分析を行っている。本調査では、科学技術に 8 分野を設定し、分野毎に産学官の専門家からなる委員会を設置し検討を行なった。本稿では、8 分野のうちマテリアル・デバイス・プロセス分野における検討状況について報告する。

2. 分野の概要と細目

マテリアル・デバイス・プロセス分野は、環境・エネルギー、医療・バイオ等の社会課題を解決するための分野横断的な基幹科学技術として位置づけられる。基盤となる学問領域も物理学、化学、生物学、材料工学、化学工学、電気・電子工学、情報工学、機械工学、土木・建築工学など多岐にわたる。

当分野における科学技術は、コア（新材料創成、プロセス開発）、ツール（理論・計算、計測・解析）、応用（デバイス・システム）として、基礎から応用へシームレスに体系化され、かつダイナミックに発展している。本調査ではこの分野体系を基に表 1 に示すような 7 細目を設定した。なお、医療・バイオ分野への応用に関しては、健康・医療・生命科学分野ならびに農林水産・食品・バイオテクノロジー分野内で扱うこととした。

表 1 マテリアル・デバイス・プロセス分野の細目と課題数

	細目名	課題数
1	新しい物質・材料・機能の創成	17
2	アドバンスド・マニュファクチャリング	13
3	モデリング・シミュレーション	12
4	先端材料・デバイスの計測・解析手法	12
5	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)	12
6	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	21
7	応用デバイス・システム (インフラ分野)	5
	〔合計〕	92

今回設定した細目の構成では、新機能を有する材料・デバイスの創成、すなわち「新しい物質・材料・機能の創成」と先進的なプロセス開発「アドバンスド・マニュファクチャリング」を本分野のコア（基盤技術）と位置づけ、理論・計算科学とインフォマティクスに関する「モデリング・シミュレーション」、並びに「先端材料・デバイスの計測・解析手法」をツールとして開発・活用し、「応用デバイス・システム (ICT・ナノテク、環境・エネルギー、インフラ)」として適用することで社会課題の解決に貢献する、という基盤技術から社会実装までを体系的に取り上げている。

3. 科学技術課題の概要

当分野では委員会（座長：小関敏彦 東大副学長）での議論を経て合計 92 課題を設定した。細目ごとの課題数は表 1 に示したとおりである。社会課題として重要視される「応用デバイス（環境・エネルギー分野）」が 21 課題と最も多く、次いで基盤技術である「新しい物質・材料・機能の創成」が 17 課題となった。当分野の課題の一覧を付表に示す。以下、各細目毎に設定された課題の概要について記す。

3.1 新しい物質・材料・機能の創成

高分子や無機材料の高機能化、高移動度フレキシブル半導体、ポスト SiC, GaN のパワー半導体、人工的にバンド制御したバルク半導体、メタマテリアル光学素子、自己修復材料などの課題があり、また、

環境・エネルギーに関連した課題として、強相関電子を用いた室温超電導材料、実用照明レベルの蓄光材料、部品の長寿命化のための表面改質・トライボロジー技術などがあげられた。

3.2 アドバンスト・マニファクチャリング

コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産や変種大量生産、あるいは高品質のパーソナル生産、さらにはメタマテリアルへの適用、バイオプリンティングによる再生臓器の製造など、デジタルファブリケーションに関する課題が複数提示された。また、計測とモデリングによる技能のアーカイブ化や、半導体プロセスでは少量多品種向けのオンデマンド生産のためのファブシステムなどの課題があげられた。

3.3 モデリング・シミュレーション

計算科学関連では、マクロレベルの物性を電子スケールの化学反応から捕らえる技術として、マルチフィジクス／マルチスケールシミュレーションや、動的な化学合成や加工プロセス設計・予測を可能とするシミュレーション、求める機能・物性を与えることで構造を予測するシミュレーション技術、あるいは、化学反応経路の自動検索、また材料やプロセス設計にインフォマティクスを活用するための技術課題も複数あげられた。

3.4 先端材料・デバイスの計測・解析手法

計測・解析手法では、光エネルギー変換材料、電池、触媒、インフラ材料などの3次元可視化ならびにリアルタイム計測を実現する課題群があげられている。電子顕微鏡では、100V以下の加速電圧での原子分解能実現、および、高温高圧環境下での観察技術、また生体関連計測では、細胞への自動インジェクション、細胞内の分子動態を追尾できる計測技術、さらにナノ材料の生理学的安全性を推測する技術課題があげられている。

3.5 応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）

現状の性能を凌駕する新規デバイス技術として、スパコン用の集積回路技術、低消費電力メモリ、大容量・高速ストレージ、高密度記録技術、ナノ機械システムがあげられている。またポストシリコンデバイスとして、グラフェンなどの2次元系半導体のデバイス化・集積化技術や単一スピンを利用したデバイス、また半導体デバイスの低コスト化・フレキシブル化を可能とするプリンタブルLSI、プリントッド・システム・オン・プラスチック、フレキシブル・マン・マシン・インターフェースの課題があげられた。さらに単一光子デバイス、特定の人にしか可視化できないディスプレイなど、セキュリティに関連した課題もある。

3.6 応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）

エネルギー応用では、高効率太陽電池、低温温水発電システム、高層偏西風等を利用した風力発電システム、高効率熱電変換素子、超伝導送電を可能とする高効率の冷凍機、直流スマートグリッド、高効率エネルギーハーベスト技術等の課題があげられている。電池関連では、自動車の航続距離が500km以上の二次電池や炭素質キャパシタ、再生・リサイクル可能な空気電池、希少金属を用いない、あるいは低濃度NO_xを酸化剤として利用可能な燃料電池、高密度水素貯蔵材料があげられている。

環境応用では、太陽光で水を分解できる実用的な光触媒、植物と同等の効率の人工光合成技術、CO₂の光還元触媒による燃料化、オールカーボンデバイス、石炭から水素を製造する膜分離技術、CO₂を利用してプラスチックを創成する技術、人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置、遺伝子へのマーキングによる害虫や外来種の駆除技術の課題がある。

3.7 応用デバイス・システム（インフラ分野）

インフラ応用では、小型軽量の建築物のヘルスマニタリング技術、損傷箇所と程度を自己診断できる安価な塗装材料、高強度高靱性鉄鋼材料、大規模構造物に利用できる炭素系構造材料などの課題がある。

4. 調査方法

本予測調査では、設定した各科学技術課題について、産学官の専門家に対して以下を設問した。

- ①専門度、②研究開発特性（重要度、不確実性、非連続性、倫理性、国際競争力）、③技術的実現（可否、実現年、重点施策）、④社会実装（可否、実装年、重点施策）、⑤コメント。

また、各細目毎に、以下を設問した。

- ①細目の中で最も重要な課題、②実現に必要とされる要素技術、③実現で得られる波及効果、④科学技術政策に関する見解。

現在デルファイ法によるWebアンケートを実施中であり、結果については講演にて報告予定である。

1. 新しい物質・材料・機能の創成

1. 高分子並みに塑性加工が容易な耐熱性無機材料
2. SiC、GaN よりも低損失の電力用の実用パワー半導体
3. 水冷ラジエータ等の部品化可能な熱電素子
4. リサイクル可能な架橋性樹脂
5. 自己組織化による高分子と無機のハイブリッド材料
6. 室温で銅と同等の電気伝導度と耐環境性を有する高分子材料
7. 低コストで、曲面や可動部に装着できる、移動度が単結晶シリコンレベルの印刷可能で安定なフレキシブル有機半導体トランジスタ
8. ファンデルワールス力による高品質界面を利用した、新規高移動度トランジスタ
9. 実用照明の輝度で 8 時間連続使用可能な蓄光材料
10. 計算により得た所望のエネルギーバンド構造を基に、人工的にバルク半導体を創成する技術
11. nm オーダーの微細な幾何学構造により、任意の誘電率・透磁率、偏光特性を有するメタマテリアル材料を用いた光学素子
12. ミラーを用いずにレーザ光の射出方向を自由に制御可能な半導体レーザアレイ
13. 数 100nm $\sim$ μ m サイズの領域において、非接触・高精度に pN $\sim$ nN オーダーの微小力を発生し、マイクロ/ナノマシンや生体分子等の微小物体の配置や運動を自在に制御・計測する光技術
14. 光など電磁波を閉じ込めてほとんど逃がさない反射体
15. ビル等の建築構造物の機能を維持できる自己修復材料
16. 強相関電子を用いた室温超電導材料
17. 部品の超長寿命化(現在の 2 倍以上)のための表面改質・トライボロジー

2. アドバンスド・マニファクチャリング

18. コンシューマープロダクトにおける保守部品のオンデマンド生産
19. バイオプリンティングによる再生臓器の製造
20. 形の異なる部品のマスカスタマイゼーション生産(変種大量生産/10 万個規模)
21. 付加製造(アディティブ・マニファクチャリング)によるメタマテリアルのコンシューマープロダクトへの適用
22. 大量生産品と同等の精度・品質を持った部品・製品のパーソナル生産
23. 1 μ m 以下の加工精度の切削を用いない(ネットシェイプ)成形加工
24. 少量多品種向けの半導体デバイスや集積回路チップをオンデマンドで短期間に生産できるファブシステム
25. ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術およびセンサ技術の高度化による、オンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)
26. 木材や紙などセルロースから食用となるアミロースや糖類を大量かつ安価に製造する方法
27. 体積がピコリットルオーダーの閉鎖空間にアトリットルオーダーの物質を注入する方法
28. 鋳型を使わず液体から直接立体形状固体を造形する革新的生産技術
29. 匠(熟練技能者など)の技能の計測とモデリングを通じ、暗黙知のアーカイブ化、技能継承を行うシステム
30. 直接還元などの新しい製造システムの構築による低環境負荷精錬技術

3. モデリング・シミュレーション

31. 表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術
32. 電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術
33. 合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術
34. 構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術
35. 材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術
36. 触媒反応における選択率、温度などの環境効果、多体効果などを解明可能なダイナミクスシミュレーション技術
37. 電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
38. 量子化学計算に基づき化学反応経路を自動的に探索することで、励起状態、溶液内反応、表面反応、新規化合物合成などのシミュレーションを可能にする計算システム
39. シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術
40. バイズ推定やニューラルネットワークなど情報統計力学手法の応用により材料科学上の逆問題から材料の構造や生成プロセスを推定できる技術
41. 大規模材料データからの新規物質探索をスピードアップする物性予測ツール
42. マテリアルズ・インフォマティクスを活用し、3 次元造形による構造および機能性材料が開発される

4. 先端材料・デバイスの計測・解析

43. 光エネルギー変換材料におけるキャリア移動の時空間分解解析技術
44. 充放電時における電池内部の物質移動および物質変化のリアルタイム 3 次元可視化技術
45. 固体における欠陥を、非破壊・その場で超高感度検出・解析する技術
46. 超臨界状態や相転移などにおける物質のゆらぎの解析技術

- 47.触媒の多チャンネル同時計測によるオペランド解析
- 48.触媒反応素過程の実時間追跡
- 49.ナノ材料の生理学的安全性を推測する技術
- 50.生存確率が1割を超える細胞への蛋白質や蛍光物質の自動インジェクション
- 51.細胞内の分子動態をマイクロ秒以下の時間分解能で追尾できる計測技術
- 52.原子分解能を有する 100 ボルト以下の低加速電圧電子顕微鏡
- 53.超高温(800℃以上)かつ高圧反応(3kPa 以上)など極限環境での、触媒、金属、熔融塩などの電子顕微鏡観察技術
- 54.高温超伝導・スピントロニクス材料などの機能解明のための広いエネルギー(波長)範囲の偏極中性子の生成・制御・検出技術

5. 応用デバイス・システム(ICT・ナノテク分野)

- 55.高性能有機半導体をベースとしたセンサ用論理回路などに適用でき、かつ低コストで少量多品種生産を可能とする、プリンタブル LSI
- 56.センサと集積回路などを一体化し機能統合した、薄型電子デバイスの製作プラットフォーム(プリンテッド・システム・オン・プラスチック)
- 57.近未来の車などの移動式居住空間において利用可能な、低コストかつ大面積曲面に装着できるデバイスで構成されたフレキシブル・マン・マシンインタフェース
- 58.生体分子モータを模倣し、分子の力で動くナノ機械システム
- 59.単層グラフェンデバイス等の 2 次元系半導体のデバイス化プロセスと集積化技術
- 60.単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を 1 チップで実現する集積回路技術
- 61.特定の人にしか可視化できないディスプレイ
- 62.デジタルジレンマを打破する超高密度記録技術
- 63.現在の DRAM に比べ、100 倍のメモリバンド幅を持ち、100 分の 1 の消費電力で動作するメモリ
- 64.単一スピンを情報担体とし CMOS デバイスの性能を凌駕する情報素子
- 65.量子暗号通信のためにオンデマンドで単一光子を発生できる新デバイス
- 66.大量の情報データを高速に蓄積・検索可能な 1 原子/1 分子が 1 ビットに対応するストレージ

6. 応用デバイス・システム(環境・エネルギー分野)

- 67.効率が 40%以上の熱電変換素子
- 68.超電導送電の実用化を可能とする高エネルギー消費効率の冷凍機
- 69.変換効率 50%を超える太陽電池
- 70.国内の送配電網の 8 割以上が直流スマートグリッドに置き換わる
- 71.40～100℃で発電可能な低温温水発電システム
- 72.高層の偏西風や台風を利用した風力発電システム
- 73.CO₂ を利用してプラスチックを創成する技術
- 74.人工的核変換により放射能を低減できる移動可能な装置
- 75.遺伝子へのマーキングにより害虫や外来種を特定の薬剤により駆除できる技術
- 76.出力数ワット以上の高効率エネルギーハーベスト技術
- 77.現行の大きさ、重量でも航続距離が 500km の性能(エネルギー密度 1kWh/kg 以上,出力密度 1kW/kg 以上)をもつ自動車用二次電池
- 78.マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な空気電池
- 79.東京から大阪まで連続走行できる電気自動車用炭素質キャパシター
- 80.希少金属を用いない自動車用の高効率燃料電池
- 81.低濃度 NO_x を酸化剤として利用可能な燃料電池
- 82.水素密度 10wt%以上で放出温度 100℃以下の高密度水素貯蔵材料
- 83.太陽光で水を分解できる実用的な光触媒
- 84.植物同等の効率(1%以上)の人工光合成技術
- 85.CO₂ の光還元触媒による燃料化
- 86.グラフェンやカーボンナノチューブを用いた、金属を用いない低環境負荷デバイス
- 87.環境に CO₂ を排出せずに石炭から水素を製造する膜分離技術

7. 応用デバイス・システム(インフラ分野)

- 88.小型軽量で1人でも操作可能な建築構造物ヘルスマニタリング技術
- 89.損傷を受けると損傷箇所と損傷程度を自己診断表示する安価な塗装材料
- 90.降伏強さ 1800MPa(既存鋼材の 3 倍)以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄鋼製建築構造物材
- 91.中間緩衝層なしで直接セラミックスに接合できる鉄鋼材料
- 92.超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の炭素系構造材料