

研究領域
「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」
事後評価

1. 総合所見

米国のナノテク戦略と相前後してスタートした本研究領域は、きわめて時宜を得たものである。当研究領域は平成 13 年度に発足した時に「化学・生物系の新材料などの創製」を目指したが、平成 14 年度にナノテクバーチャルラボに編入する際に「医療に向けた化学・生物系分子を利用したバイオ素子・システムの創製」に改組され、より明確な出口を目指す研究領域となった。このような異例の状況下であったにも拘わらず、研究総括のリーダーシップと領域アドバイザーのサポートにより、研究領域全体の方向性が一貫していたことは特筆に値する。

いずれの研究チームもナノテクノロジーの応用展開や医療への新たなインパクトの提供という点で国際的にトップレベルに位置する注目すべき研究成果を上げている。各課題から得られた新規性の高い研究成果は、当該領域の科学技術を牽引する効果があり、その進歩に十分貢献できたと評価できる。具体的には、バイオセンサー、創薬の基盤、一分子分析などの基盤的成果が得られた。また、再生医療、DDS 創薬等の分野においては実用性の高い成果が得られた。

さらに、医工連携という 1 つのプラットフォームが形成された。医療に貢献するという共通の目標を持ち、研究者、医師、企業の研究者による連携が積極的かつ具体的に試みられ始め、真の先進的な医療技術が生まれる仕組みが生まれようとしている。従って、医工連携の分野は長期的な視座で支援を続けるべき段階にある。

このような直近の応用を指向するだけに止まることなく、全体を中長期的な基礎的研究領域として位置づけたのは研究の方向性としては正しかった。我が国が現状で他国から一歩も二歩もリードしているナノテクノロジーは、さらなる新しい機能を付与し、また世界に先駆けて産業化を達成すべき分野である。事実、応用展開の段階まで手が届くところまで来ている研究成果が認められている。今後の前進や新技術につながるような発展を期待したい。

本研究の成果は数年乃至十数年後の医療に大きなインパクトを与えるであろう。その意味で、今後、本研究領域で得られた研究成果をどのように展開・支援するかが新しい課題となろう。

領域が掲げるナノ構造の加工、評価技術の研究は戦略目標の達成には不可欠であり、材料、デバイス、システム研究全体にわたる横断的な基盤技術を提供する研究分野である。したがって、本領域では、ナノテクノロジーの基盤技術として定着する可能性の高い手法を特定分野に偏ることなく選択されている。領域全体としては、具体的な問題解決型でかつ

実用レベルを視野に入れた計測・評価技術の研究から技術探索型のプロセス技術の研究領域にまで広がっている。計測・評価技術に関する研究では、溶液中の高分解能 AFM、極端紫外線顕微鏡とマスクの検査法、原子立体構造観測装置の開発などは極微小領域の計測装置として世界トップレベルで実用化に近い成果である。今後の科学・技術分野での活用が期待される。プロセス技術の開発では、CNT の成長機構解明と制御、人工原子としての物性とテラ Hz 検出器への応用の可能性、nm 周期の高精度大面積周期構造の形成、高密度量子ドットの制御方法、イオンビームによる 3 次元ナノ構造の形成方法の開発などが特筆すべき成果である。これらの成果は従来法の微細加工技術の壁を破るものとしてはまだ未知数であり、基盤技術となるにはブレークスルーが必要であろう。しかし、技術探索レベルの成果としては確実に前進している。したがって本領域で得られた成果は、計測評価技術、加工技術ともにナノデバイス技術の進歩に資するものであり本領域の存在意義は十分にあったと思われる。

グループ内の連携のみならずグループ間の連携も機能しており、幾つかの共同研究が生まれている。これらの成果は今後に期待したい。

2. 研究領域のねらいと研究課題の選考

次世代ナノデバイスを目指した研究の現状は、まだ目標とするデバイスの形が見えておらず、したがってナノ領域の加工・評価研究では探索的研究を主軸とした基盤技術の確立を目標とした研究が妥当であろう。本領域でも総括の方針により特定分野、材料に集中するよりも基盤技術となりうる可能性を求めてナノ加工技術、ナノ計測・評価両分野に亘って広くテーマが選択されている。

ナノデバイス分野はまだ先の不透明な領域であり研究テーマは基礎的、学術的研究に偏りがちであるが、研究が学術的なものに偏る事のないよう配慮されている。したがって領域アドバイザーも企業における研究開発の経験者が参加されており、工業生産への展開を考えたテーマの採択やアドバイザーが得られるよう配慮されている。採択課題の構成もプロセッシング技術に関するものとしては基礎的、学術的な CNT 人工原子から、より技術開発に重点をおいたイオンビームによるナノ 3 次元構造の形成技術、さらには研究必要性の高い CNT の形成制御、新規大面積周期構造形成、超高密度量子ドットなどナノプロセッシング技術として有望なテーマが採択されている。

ナノ計測・観測については、溶液中でも観測できる高精度、高感度 AFM の開発、EUVL 実用化の支えとなる極端紫外光顕微鏡の開発とマスクの検査、立体原子像の観察などより実用レベルに近いテーマが採択されている。加工と計測の組み合わせによりテーマ間の共同研究による成果も期待できる。

これらのテーマが半導体産業界が抱えている問題をどのように取り除いてゆくかは不透明であるが、次世代ナノデバイスの研究そのものが探索的研究の色合いが強い現況では本

領域の課題の構成は挑戦的なテーマの採択も含めて適切なものであった。

3. 研究領域のマネジメント

研究情報の疎通を円滑にし研究協力の機会を高めるためにオンサイトのミーティングを重視したことは評価できる。特にアドバイザーの参加により緊張感のある中での研究報告会は若手の研鑽の場になるばかりでなく、研究結果の整理と研究方向の見定め、および修正の機会を数多く持つという点からも研究推進の上で重要である。他領域にまたがる横断的テーマが幾つかあるが、中間評価の指摘にもあるようにこの間の連携がやや物足りない。CNTの領域横断シンポジウム等は評価できるが、さらに進んで共同研究の試みがなされればさらに良かったと思われる。中間評価では、内容が発散しがちなプロセス技術の探索的研究に対してチーム間の連携によって完結したプロセス技術の構築が望まれていたが CNT の成長制御などその兆しが見える成果が上がっている。

4. 研究成果

① 研究領域の狙いに対する成果の達成度

戦略目標のナノデバイスあるいはシステムに直結する成果は、この分野の研究状況から言ってまだ時間が必要であろう。本領域では、ナノ加工については、ボトムアップ型の自己組織化に関して実用化へのきっかけを求めて制御性、信頼性の向上を目標としており、またナノ計測については局所計測に狙いが置かれている。個々のテーマの達成度については、差は認められるが、全体としての達成度は満足できるものである。たとえばナノ加工については、CNTの集積回路への応用において避けて通れない位置制御や構造制御に対して重要なヒントが見出されており、また大面積にわたるナノメートルオーダーの周期構造の実現はテンプレートとして具体的な応用は今後の課題であるが有望な成果である。CNTの新機能の発見、シリコン系ナノドット形成と物性評価、イオンビームによる3次元ナノ構造形成方法の開発などが重要な成果であるが、これらの成果をデバイスに結びつけるためには更なるブレークスルーが必要である。ナノ計測・評価に関しては AFM、極端紫外顕微鏡、立体原子像観察装置などの実用化への可能性が期待できるレベルに達している。

② 特筆すべき成果のうち科学技術の進歩に資するもの

- ・新しい AFM 開発により溶液中での原子像の観測、反応観測を可能にしたことは学術的のみならず工業的にも優れた成果である。
- ・CNT 応用上問題となっていたカイラリティ制御を結晶性触媒粒子からのエピタキシャル成長により制御できる可能性を見出した。これが実証できれば CNT 応用上大きなブレークスルーとなる。

・CNT人工原子を作製し電子状態の殻構造を明らかにし、さらにテラヘルツ波量子応答があることを示した。

・集束イオンビームプロセスによって他の手法では出来ない3次元構造を作製し、わかり易い形で科学技術のデモンストレーションをおこなった。

・シリコン系の超高密度ナノドット形成技術を開発した。これによる光デバイス、ICの光配線への展開が望まれる。

学術的な成果の一つの指標としては公表論文数がある。中間評価の指摘を受けてこの点でも努力のあとが見られ成果があげられている。

③ 社会的および経済的な効果・効用に資する成果。

社会的、経済的効果が期待できるようなナノデバイスとしての形はまだ見えてこないが、関連する研究成果としては、以下の成果がある。位相差極端紫外光顕微鏡システムの開発とX線マスク欠陥を直接評価できることを示した。これは次世代露光技術の開発に貢献すると思われる。完全配向制御されたナノ相分離構造体を大面積、大量、安価に製造する技術、偏光X線により原子配列構造を立体的に捉える立体原子顕微鏡の開発、高感度局所計測AFMの開発などが実用化に近い優れた成果である。

5. その他

事後評価に当たって、ナノデバイス研究分野では、長期間にわたる探索的研究からなかなか脱皮できない事に対する苛立ちのようなものが評価委員のコメントから感じ取られる。ナノ構造・デバイスの研究はまだ基礎的な段階である事の認識は一致しているが、今後もこのようなスタンスで研究を推進して行って、ポストシリコンにおいて海外との競争に打ち勝つための真のブレークスルーが得られるかという懸念がある。その恐れは、本領域において海外特許が少ない事にも現れている。一般的に、基礎的研究は、学術的にはそれなりの成果が得られ、安心感があるようだが、ナノデバイス、システム創製の戦略目標達成の先が見えず、このままではシステム、回路構成を含めた縦方向の研究に歩を進めることが可能かどうか懸念される。ナノテクノロジー研究では、まだ、基盤技術の探索的研究を続ける必要はあるが平成14年度に設定されたナノテクノロジーバーチャルラボプロジェクトの中から、ナノデバイス、システムへと研究を進める種を見つけて欲しい。

ナノデバイス、システムの創製を最終目標とする本研究制度の中で、ナノ加工・評価技術に限定された領域を運営する場合、個々のテーマがそれぞれは優れた成果を挙げつつも独立に進行して終了の時期を迎えてしまうという懸念が付きまとう。本領域ではオンサイトミーティング、領域間シンポジウムなどでシナジー効果を発揮する努力がなされているが、戦略目標に近づくためには、領域間の共同研究が生まれるような制度が当初から組み込まれていたら良かったと思われる。

6. 評価

(1) 研究領域として戦略目標の達成状況

(1-1) 研究領域としてのねらいに対する研究成果の達成度

十分な成果が得られた。

(1-2) 科学技術の進歩に資する研究成果

特に優れた成果が得られた。

(1-3) 社会的及び経済的な効果・効用に資する研究成果

十分な成果が得られた。

(1-4) 戦略目標の達成状況

成果が得られた。

(2) 研究領域としての研究マネジメントの状況

十分なマネジメントが行われた。