

CREST 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」
追跡評価報告書

総合所見

本研究領域は、実施期間中に優れた基礎的研究成果をあげ、研究領域終了後も、多くの研究テーマについて、それぞれ発展的な成果があがっている。その中には、新たな科学的知見を得たものや、産業的に意味のあるものも含まれており、評価できる。このことは、14 の大型競争的資金の獲得、多くの受賞実績、研究領域期間中を上回る発表論文数からも証明されている。

科学技術の進歩に貢献する成果としては、CNT の表面疎水性と水分吸着層の共存の発見や、結合量子ドットなど量子デバイスの基礎的研究の発展、機能性材料応用につながる知見が見出されている。また、EUV コヒーレントスキヤトロメトリー顕微鏡、高スループットナノインプリント技術、ナノ相分離構造テンプレート技術は、次世代リソグラフィの基盤技術につながるものとして期待できるものである。

問題はこれらの成果をいかに実用化、産業化へ結び付けるかであるが、得られた成果が具体的にどのような「高度情報処理・通信の実現」に結び付くのかは明確ではない。可能性を示すだけでなく、競合技術に対する優位性も含めて、客観的に評価する視点を持続することが望まれる。そして、日頃から、応用研究や実用化研究に携わっている研究者と密に交流して、得られた成果の実用化や産業化の意識を高めておくことが重要であろう。

本領域の事後評価において、「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こと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」と記されているが、この状況は現在でも続いており、追跡評価に際しても、強く感じられた点である。

EUV リソグラフィやナノインプリントリソグラフィなど、実用化が期待される顕著な成果が挙げられているので、国を含めた産官学の連携体制を強化して、是非実用化に結び付けて欲しい。また、CNT やグラフェンを用いた量子デバイスは、従来の半導体集積回路の微細化限界がささやかれる中で、新規ナノデバイスとしての期待は非常に高いが、集積回路や集積システムに結び付くような成果は皆無に近い。新しい集積回路や集積システムの実現には途方もない努力が要求されよう。回路設計やシステム設計などの応用研究や実用化研究に携わっている研究者と密に交流して、実用化への道を探って頂きたい。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域で採択された 8 つのテーマはいずれも、研究終了後も、研究期間中に得られた知見や成果を存分に活用し、概ね順調に研究を進展させ、多くの成果を挙げている。研究終了後の大型競争的研究資金獲得件数は、ERATO 1 件、CREST 2 件、科研費基盤 S 2 件、

科研費特定領域 1 件を含む 14 件に上り、発表論文数も研究期間中 228 件だったものが、終了後 5 年でそれを上回る 254 件に増加しており、高いアクティビティを維持している。特許については、減少傾向は見られるが、研究終了後においても、28 件の特許申請、登録件数 6 件(内海外 5 件)と一定のレベルを維持している。

EUV リソグラフィに関しては、EIDEC と協力しながら顕著な研究成果が得られており、それらの成果が実用化へ向けて有効に活用されている。しかし、実用化のためには、光源の安定性や装置の処理性能、コストなどの点で、まだまだ多くの課題が残されており、将来のリソグラフィツールの主役となり得るかどうかは予断を許さないところである。今後は、半導体装置メーカー、半導体デバイスメーカーとの連携が必須である。海外では、ASML、Sematech、IMEC、TSMC 他の強力な連携体制が取られているが、国内では半導体デバイスメーカーの国際的な競争力の低下もあって、今後どのように連携体制を構築して行くかが問われる。国の強力な支援が必要と思われる。ナノインプラントリソグラフィや高分子マイクロ相分離構造膜に関しても、顕著な研究成果が得られており、実用化へ向けた取り組みもなされている。しかし、実用化の可能性は示されているものの、本格的な実用化に結びつけるまでは、コストも含めて解決すべき課題が山積している。CNT やグラフェンを用いたナノデバイスに関しては、研究成果としては注目すべき成果が得られているが、これらの成果を将来の実用化へどのように結びつけるかが今後の課題である。これまでも、いろいろな新デバイスに関して、アカデミックな観点では多くの顕著な成果が得られるものの、実用素子である集積回路や集積システムに結び付くような結果は得られてこなかった。単体トランジスタやデバイスでの原理実験の域を超えて、新しい集積回路や集積システムの創製に向けて、その可能性を実証すべき時期に来ている。

なお、ナノテクノロジーを支える評価装置、分析装置に関しては具体的な実用化の例が示されており、成果の活用例として評価できる。

2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

2.1 科学技術の進歩への貢献

科学技術の進歩への貢献という点では、評価に値する成果が多々得られている。

CNT に関しては、プロジェクトの成果をさらに発展させ、カーボン系デバイスの原理的動作の確認を継続した。特に、両端を化学修飾した CNT によるリング形成によるバンドギャップ形成は、センサーなど新しい機能性材料の創出の可能性を示しており、新規性のある研究成果である。CNT を電荷センサーとして用いるテラヘルツ波検出も興味深い成果であるが、今後は、原理的な動作確認のみに留まることなく、CNT を用いることによる本質的メリットをより定量的に議論し、その制御要因を明らかにしていくことが重要となるであろう。また、CNT の疎水性と水の表面層の共存に関する成果も大変興味深い知見である。大気中で CNT をデバイスとして用いる際の重要な知見となるであろう。さらに、CNT の光物性ならびに表面修飾・物質内包の効果の解明を進めたことは、科学的なアプローチにより、CNT の基

礎物性を明らかにした成果として高く評価できる。

EUV コヒーレントスキャトロメトリー顕微鏡の開発においては、研究期間中に推進した位相差顕微鏡とは異なるアプローチにより、マスクパタン欠陥検出限界を 10nm に改善することに成功していることは注目に値する。また、ナノインプリント技術の高スループット化では、凝縮性ガスの利用とそれに適合した樹脂の開発を進め、23nm の LS パタンの形成に成功している。いずれも、次世代リソグラフィの要素技術の開発として評価できる。また、相分離を利用したナノテンプレート形成技術の開発は、次世代技術として有望であり、今後は、デバイス材料に転写できるのか、どのような機能をもった配列体形成に利用するかを、より明確にしていくことが重要となるであろう。

以上のように、研究期間終了後も、次世代材料および次世代リソグラフィ技術に関連する多くの研究成果が得られている。それだけに、事後評価でも指摘されているように、シナジー効果の不足、すなわち、本研究領域を契機とした、リソグラフィ・加工研究とデバイス研究との連携など、共同作業による新しい付加価値創造への取り組みがほとんど見られないのは問題であり、今後の課題として残る。

2.2 社会・経済的な波及効果

世界の半導体産業や関連装置産業はこの 5 年間で大きく変化し、生き残り戦略をかけて企業の買収・合併や投資が相次いでいる。その中であって、EUV リソグラフィ技術は次世代の集積回路製造に欠かせない技術で、産業界から注目を集めている。本研究領域では、この分野で多くの優れた研究成果が得られている。まず、位相差 EUV 顕微鏡とマスク検査技術が、実用化レベルに達している。CREST でサポートしてきた基盤研究が実用化研究に移行した成功例の一つであり、高く評価できる。EUV リソグラフィ技術そのものは、量産への導入に向けた取り組みがなされているが、EUV 光源のパワー不足が解決しない現状もあり、いつ従来技術にとって代わるかの見通しは不透明である。ただ、EUV 用のマスクやレジスト材料の日本のシェアは大きいので、本研究領域で得られた成果を含め、日本の EUV 関連技術が EUV 実用化を後押しし、国内における LSI 生産を始めとして、世界のチップの量産に使われるようになれば、その社会的・経済的な波及効果は大変大きい。

FIB-CVD の装置化・市販化や、液中 AFM 技術の実用化の検討は、新たな基盤研究ツールの提供につながるものであり、材料研究、ナノバイオなど、LSI 産業以外の展開を含めた波及効果を生ずる可能性がある。また、ナノインプリント技術、ナノテンプレート技術は、EUV の次の世代の技術と目されており、将来的に大きな波及効果を生み出す可能性を有している。

カーボン系材料の研究は、次世代エレクトロニクス材料として期待される新材料の可能性を示すものであり、特に、新しい表面科学や化学修飾などによる新物性発現は未知の領域の開拓であり、将来の波及効果につながる可能性がある。しかし、現時点では、基礎研究の域を出ず、実用化の具体的なアプローチが見えない。今後は、可能性を述べるだけで

なく、可能性の実証へ向けた取り組みが強く望まれる。

3. その他特記すべき事項

チップメーカーとファンドリの分離など、世界の半導体産業のアライアンスや分業の形態、それに伴う収益構造が目まぐるしく変化していくなか、「材料・デバイス・プロセス研究を個別に推進していれば、基盤技術構築を通して社会・経済に資することができる」という構図は姿を消しつつある。このような社会状況を考えると、科学技術に関する基礎研究の重要性は言わずもがなではあるが、本研究領域のメンバーのような高い専門性と見識を持って分野を牽引する研究者が、各々の基礎研究や要素技術開発を、個人の興味だけで推進するのではなく、連携や相互作用を強め、新しい価値を創出していくことが何よりも求められる。これは、研究開発を支援する国の政策にも関わる問題である。

どのような分野でも競合する研究は世界の各地で行われており、また、イノベーション創出の可能性を議論する際には、グローバルな競争力を有しているかが重要な指標である。評価用資料の一部には、世界からの注目度に関する記述も見られるものの、世界の該当分野における最新動向、およびその中での各メンバーの研究の独自性ならびに位置づけに触れている記述が少ない。今後、追跡評価で提出される資料においては、研究成果の世界的な位置づけを明確にすることが重要であろう。

以 上