

## プロジェクト事前評価報告書

評価委員会開催日：平成22年3月26日

評価委員：（敬称略、五十音順）

天野 浩 名城大学 理工学部 教授  
 水島公一 東芝リサーチ・コンサルティング（株） シニアフェロー  
 武藤俊一 北海道大学大学院 工学研究科 教授  
 山部紀久夫 筑波大学大学院 数理物質科学研究科 教授

確定年月日：平成22年6月4日

プロジェクト名	新材料と分野融合によるナノエレクトロニクスの構築（「ナノエレクトロニクスのための新材料・新機能の創製」に改題）
研究責任者の所属・役職・氏名	半導体材料センター センター長 知京豊裕
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>近年、エレクトロニクス製品が消費する電力の問題が顕在化している。半導体の利用がさらに進めば、対性能比の消費電力はさらに増加すると考えられている。そのため、材料、デバイスから、システムアーキテクチャ、回路・設計技術までの工夫による低消費電力化が求められており、新たな技術領域を開拓していく必要がある。次世代半導体デバイスに求められているのは、高速化、高集積化、多機能化、そして低消費電力を同時に満たすデバイスである。この問題を解決するために、より誘電率の高い材料（Higher-k材料）をSi基板上に直接接合する材料とその技術、また、それに対応して低電圧化するメタルゲート材料の開発などが必要であり、ここでは、こうした材料の開発と関連する革新的な評価技術、さらにそれらを使ったメモリなど基礎から応用までの研究が必要である。</p> <p>NIMSは国内で最大の規模をもつ材料研究機関であり、金属、半導体、セラミックスまでの材料開発研究を進めている。材料開発においては、国内の中心的拠点として機能しており、産学独連携を積極的に進めている。さらに、ゲート酸化膜、仕事関数を制御したメタルゲート材料、など多くのエレクトロニクス関連材料探索を横断的分野融合の発想で行ってきた実績もある。</p> <p>本研究は産業・経済活動の活性化・高度化に貢献するものである。また、本研究はナノデバイスに材料という日本が最も得意とする分野を使って貢献しようとするものであり、国際競争力の向上や研究活動を通じて生まれる知的財産の確保や高付加価値のナノエレクトロニクスやIT関連製品に応用され、汎用性がある研究開発プロジェクトである。</p>
研究内容	<p>次世代の超高密度集積回路を実現するために、将来のゲートスタック材料開発と新評価技術の開発を目指す。キーテクノロジーは新材料開発と界面制御、分野融合である。そのために、より誘電率の高い材料（Higher-k材料）をSi基板上に直接接合する材料を開発する。さらにHigher-k材料に適した仕事関数の制御可能なメタルゲート材料の開発を進める。評価手法として、チャンネル中の電子の移動度を、強磁場を使って評価する手法を開発し、界面制御開発の効率化を図る。また、ナノレベルで埋め込まれた構造をナノレベルで評価する手法も開発する。これらの成果を使って、現在のフラッシュメモリに代わるメモリの実現を目指す。材料に分子など、新規性のある材料を使うことで、電荷だけでなく、光で制御するメモリが可能になる。これらの研究で得られた知識を産学独連携や国際連携を活用して、この分野・領域の「オープンイノベーション」を進める。</p>
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	<p>新材料開発として、Si基板と直接接合でき、かつ誘電率が25を超えるHigher-k材料、仕事関数差が0.8eV以上で非晶質なメタルゲート材料を発見、開発する。革新的な評価手段として強磁場におけるサイクロトロン共鳴を使った次世代ナノ</p>

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価は厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、プロジェクトは実施されます。

	MOSの評価手法、キャリア輸送の計測技術、量子ホール効果を使って電子の移動度の評価方法を開発する。また、多次元EBIC（電子線誘起電流）法による次世代半導体の欠陥など、100V電頭を開発し、埋め込まれたチャンネル特性を可視化する技術を開発する。最後にこれらの材料の実用化を目指して、これらの材料を使ったMOSFETと分子や他の元素をHigher-k材料に添加した不揮発性メモリを完成させる。
【評価項目】	コメント
①プロジェクトの目的、ミッションステートメント {優れている点、内容が不足している点、目的や目標を絞る必要はないか、達成目標が高すぎる（低すぎる）か、既存プロジェクトとの重複（差別化）、など}	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本プロジェクトはオリジナリティーの高い取り組みであり、達成目標は妥当である。</li> <li>・最先端半導体技術の心臓部へのアプローチであり、技術の核心となるテーマを確実に捉えている。また、次世代デバイスに向けた試みは、すべてではないが含まれており、チャレンジングな内容となっている。特に、光機能との融合は、合理的なテーマである。</li> <li>・集積回路の改善に、構造でなくて材料の面からアプローチすることは正にNIMSらしい。</li> <li>・各サブテーマが有機的に組織化されており、非常に分かりやすい構成になっている。これまでも重要な成果が得られている。</li> <li>・サブテーマ1～3に関しては極めて重要な目標が簡潔で分かりやすく設定されている。サブテーマ4の光・多値メモリの開発の重要性は良く分からないが、アドバンス型のフラッシュメモリなどへの応用が可能と考えられる。</li> <li>・分子利用に関しては、ならではの特徴が見えない。</li> </ul>
②プロジェクトの意義 (学術的レベル、技術的レベル、社会的価値、経済的価値、将来新しい研究開発分野となるか、実用材料につながるか、産業界にとって重要か、重要特許になりうるか、など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・学術的に非常に高いレベルである。</li> <li>・学術的には、メタル電極材料の選択に対する決定的な証拠立てなどに大きな成果を挙げており、今後も期待ができる。</li> <li>・高いポテンシャルを持った研究者群から構成されたプロジェクトであり、多くの学術的・技術的発信が期待され、実用化に向けた研究へと発展することが望まれる。</li> <li>・実現は容易でないが、実現のための技術レベルは有している。ムーアの法則の一環となるであろう。数十nmのプロセスができるところが近くにあれば、なお開発は進むであろう。</li> <li>・社会的・経済的価値は極めて高く、実用材料に必ず繋がるプロジェクトである。産業界にとっても極めて重要である。</li> <li>・次世代に対応する材料・評価技術は、実用あるいは産業界では、生死を分かつ重大事項であり、このプロジェクトのインパクトは大きい。</li> <li>・デバイスの実用には多くの課題があり、基礎の段階は単独研究でも、開発段階では共同研究を積極的に進めることが不可欠である。</li> <li>・量子ドットとしての分子の利用は、特に光配線等への応用があり興味深い。</li> <li>・得られる成果は重要特許になりうる。</li> </ul>

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価は厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、プロジェクトは実施されます。

<p>③プロジェクトの内容、ロードマップ、推進体制、マネジメント、予算計画 (研究内容、目的の実現可能性、計画の問題点、推進体制、マネジメント、予算使途の問題点、など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでの実績を踏まえた上で立ち上げられたプロジェクトであり、世界をリードする研究となることが期待される。</li> <li>・計画や推進体制に特段の問題は見受けられず、目的実現の可能性は十分ある。</li> <li>・有機的に組織化されており、殆ど問題ない。分子利用の部分のみ、異質な印象を受ける。他の未来志向型テーマの検討も必要である。</li> <li>・特に世界でも類を見ない強磁場をデバイス開発に利用している点が強みである。</li> <li>・サブテーマ間の融合は必然であるが、互いの特性が影響しあうことは十分に予想され、マネジメントも有効に作用すると推測できる。</li> <li>・マネジメントでは、実際のデバイス作製が外注であることが、唯一気にかかる。</li> <li>・光機能との融合は期待値が高いものの、高い壁があり、高分子を用いることは、温度的な制限、安定性、信頼性など、未知の検討項目も、少なくない。既存の半導体分野だけでなく、光デバイス、高分子や化学分野を含めた共同研究が必要である。</li> <li>・システムとしてどのように利用していくかなどの視点も深める必要がある。</li> <li>・予算使途についても特段の問題は見受けられない。</li> </ul>
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い成果は期待できるか、論文・特許数は十分出そうか、新技術・デバイスにつながるか、多くの外部資金獲得・共同研究につながるか、他分野への波及効果は、など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・質の高い論文発表、有力特許の創出が期待される。新規な実用デバイス創出につなげてほしい。</li> <li>・Science や Nature にどんどん投稿して宣伝して欲しい。</li> <li>・NIMSはコンビナトリアル材料研究の国内の中心的拠点であり、強磁場を使った材料評価に関しては世界最先端であり、多くの成果が期待できる。</li> <li>・微細技術のうち、特に評価技術は新技術・デバイスにつながると期待できる。また、他分野への波及も期待できる。</li> <li>・半導体技術は、成果の影響力が大きく、効果も多大である。一方で、高い確実性が要求される。どこまでを明らかにするのかを、認識しておくことが重要である。課題は、際限なくある。</li> <li>・本プロジェクトは、多くの外部資金獲得・共同研究につながるであろう。</li> </ul>
<p>⑤総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～④に含まれない、その他の評価ポイントがあれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料研究でありながら、High-k 材料から量子ドットを用いた基礎的なデバイス提案までカバーした、良いプロジェクトである。</li> <li>・制御された構造に関する精度の高い測定は、他のナノ材料科学に対して波及効果が大きい。</li> <li>・プロジェクト全体としては、素晴らしい取り組みである。実際のデバイスまで試作できて、そのフィードバックがすぐにできる体制になれば、更に強力な研究体制になる。</li> <li>・全体としては優れているものの、新材料に対する取り組みなど、より具体的なプランの再構築が必要な点も見受けられる。</li> <li>・光機能との融合は一つの切り口であるが、他にも、環境やエネルギーと関連付ける半導体技術もあるのではないか。センサーとの接合による新しい分野への半導体の適用に向けた技術の発掘は、大きな使命ではないか。</li> </ul>
<p>総合評価点 (10点満点)</p>	<p>8.8 (小数第二位以下四捨五入)</p>

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価は厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、プロジェクトは実施されます。

各委員の評価点 (10点満点)		9, 10, 8, 8 (順不同)
評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れている。 計画を変更することなく推進すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 一部計画を見直し推進すればS評価になる可能性がある 平均的なプロジェクトである。 プロジェクトの実施は認めるが、一部計画を見直した方が良い点がある。
7		
6		
5	B	期待されたほどではない。 計画を見直して推進すべきである。
4		
3		
2	C	大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきである。 プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更がなければ実行すべきではない。
1		

この事前評価は課題提案の最初の段階で行ったものです。特に事前評価は厳しく評価をしてもらっています。この結果を基に研究内容・計画等をブラッシュアップして、プロジェクトは実施されます。