

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成20年10月7日

評価委員：（敬称略、五十音順）

朝日 透 早稲田大学理工学術院先進理工学部 教授
 財満 鎮明 名古屋大学大学院工学研究科 教授
 藤森 啓安 （財）電気磁気材料研究所 顧問

確定年月日：平成20年12月3日

プロジェクト名	半導体関連材料に関する基礎・基盤研究の多面的展開
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18年度～平成22年度
研究全体の目的、目標、概要	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>Hp（ハーフピッチ）32nm～22nmノード世代の次世代半導体デバイスは多様な材料とその異種接合によって機能を発現することが求められている。これらの構造はナノ構造を有し、接近する界面どうしの相互作用やナノ界面特有の現象など、まだ理解の進んでいないナノ領域の最先端科学の研究領域でもある。MOSFET構造の基本はゲートとゲート絶縁膜界面、ゲート絶縁膜/Si界面で構成される。ゲート材料に関しては、これからの微細化に対応する0.8V以上の差を実現する仕事関数制御とナノ構造制御を同時に満たすゲート材料の研究が必要である、ここでは①仕事関数の異なる金属を合金化して仕事関数の制御を実現する。さらに、②炭素を添加して金属合金の結晶粒径を微細化し、広い範囲での非晶質化の研究を行い、③これらの研究を進めるための金属/酸化膜界面の電子構造や仕事関数を評価する手法を開発する。次世代集積回路では現在のHfO₂系High-k材料より高い誘電率をもち、かつSiと直接接合するようなゲート絶縁膜/Si界面構造が求められる。そのために、まず、④ゲート酸化膜の信頼性評価手法を開発する。この手法を使ってMOSFET構造でのゲート絶縁膜の信頼性を評価する。さらにSiナノ細線に関する研究では次世代のチャネルでの利用を念頭に置き、⑤Si細線中の不純物の分布と応力との関係の明確化を進める。また多様な機能をSi上に実現するために、有機細線デバイス、ワイドギャップ半導体の開発、新チャネル材料としての金属シリサイド系材料など、More Moore, More than Moore, Beyond CMOS世代にも対応できる材料開発を進める。これらの材料データを整理・統合し最終的には半導体材料分野における材料インフォマティックスの構築を目指す。</p> <p>研究計画概要：</p> <p>上記の研究目標を達成するために、ここでは①仕事関数の制御が可能な金属メタルゲート材料に関する研究開発、②新High-k材料特に、次世代集積回路のためにSiとの直接接合が可能なゲート酸化膜の開発、③仕事関数やゲートスタック構造の電子構造解析のための手法の開発、④計算科学を使ったゲートスタック材料の設計と界面制御、⑤ゲートスタック構造中の欠陥の制御、ナノ構造の作製と不純物の制御、⑥窒化物半導体材料の開発とそのMore than Moore領域への応用、⑦ZnO、有機材料とSiデバイスとの融合に関する研究を進める。また、これらの成果、特に系統的な材料データを使って半導体材料に関するインフォマティックスの構築を目指す。</p>

<p>平成18年度～平成20年度中間評価時までの成果等</p>	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）： これまでに半導体材料センターでは、以下に示すような代表的な成果を挙げる事が出来た。</p> <p>(1) Siと直接接合する新High-k材料の発見 Siと直接接合することができ、酸化還元雰囲気での後熱処理でもフラットバンドシフトの変化がない、新High-k材料CeAlO_xを発見した。</p> <p>(2) High-k材料のリーク箇所の視覚化（世界初） EBIC法を用いてHigh-k材料の電流のリーク箇所を世界で初めて視覚化することに成功した。この成果から、High-kのリークの機構はトンネル電流ではなく、欠陥を介したリークであることが直接証明された。このことは今後の材料設計や信頼性の議論に大きく貢献する。</p> <p>(3) 金属の析出を積極的に使った金属ゲート Moを金属/High-k界面に析出させ、さらにMoとHfO₂との反応を使うことで仕事関数の小さいMoOを界面に形成することに成功した。この方法でCMOSを実現するのに必要な0.8eVの仕事関数差を達成することができた（IEDM2007で発表）。</p> <p>(4) Si細線中の不純物の挙動 ある条件下でSi細線にリンを含ませることに成功した。このリンは800℃までの細線中に残ることを確認した。これは不純物により、Si細線の電気伝導性の制御が可能であることを示した初の成果である。</p>	
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>	
<p>①研究開発の目的・目標管理・マネジメント</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 全体的にはマネジメントがよくできている。 ・ 本プロジェクトの具体的目標課題は、ゲート酸化膜材料、メタルゲート材料、コンビナトリアル材料探索、ナノ構造作製・評価、ナノ界面制御、材料インフォマティクス構築であるが、いずれも世界最先端のレベルの高いものである。 ・ Ce系の新High-k材料の発見、Ce系酸化物/Si直接接合、Fermi Level ピニング現象の発見などの良い成果が出ており、目的の達成が可能である。さらなる優れた成果が期待される。 ・ 連携を効果的に実施しているようで、評価できる。 ・ 外部研究機関に助力を求めたり、ポスドク・学生を受け入れるだけでなく、研究課題に対して共通の関心を持つ研究者との連携も大事である。 ・ NIMSの役割を考えた時に、材料インフォマティクスの構築という観点は重要である。さらに、デバイスでの実証を含めて、国内・国際的連携を有効に活用することが計画されており、研究の方向性や目標の置き方等、非常に優れている。但し、酸化物・窒化物系半導体に対する戦略がやや曖昧であるので、明確にする必要がある。 ・ 材料インフォマティクスにおける知的財産の取り扱い（特に海外に対して）を明確にしないと、「絵に描いた餅」になってしまうので、注意すべきである。 ・ 半導体新材料も、NIMSが”使われてこそ材料”と標榜しているように、デバイス化に持って行くところが重要で、国内外の研究機関との情報交換、共同研究をさらに強化して、応用化の検討を十分に言い、そこからNIMSが得意とする基礎・基盤研究にフィードバックをかけると良い。 	
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：よく練られており、全く問題ない。</p> <p>7：優れている。</p> <p>5：概ね問題はない。</p> <p>3：修正が必要である。</p> <p>1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p>	

	各委員の 評価点	8、10、9（順不同）
	平均評価 点	9.0
②研究開発の進捗状 況及び進め方		<ul style="list-style-type: none"> ・ロードマップ及び具体的研究内容・成果の説明から、研究は計画に沿って順調に進んでいると判断できる。 ・進み具合は順調と判断する。但し、時機を得たプロジェクトである分、研究をより早く進展させるためのNIMSとしての方策も必要である。 ・High-k 材料の開発を系統的に実施し、よい成果が得られている。 ・Ce 系の新 High-k 材料の発見、Ce 系酸化物/Si 直接接合、Fermi Level ピニング現象の発見などの成果は素晴らしい。 ・国内外の研究機関との相補的・相乗的な連携により、質の高い研究成果が得られている。
	評価基準	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：極めて順調であり、研究資源の再配分を増やすべきである。</p> <p>7：優れており、このまま継続すべきである。</p> <p>5：進み具合は妥当である。</p> <p>3：進み具合が遅れており、計画の見直しが必要である。</p> <p>1：大幅に遅れており、研究を中止すべきである。</p>
	各委員の 評価点	9、9、9（順不同）
	平均評価 点	9.0
③論文、特許等の直接 の成果、効果・効用、 波及効果		<ul style="list-style-type: none"> ・Advanced Materials 誌に掲載された成果が、Nature 誌にトピックスとして紹介されるなど、質の高い論文誌を通じて研究成果を発信していることは、評価できる。 ・論文はインパクトファクター(IF)値の高い国際論文誌への論載が多く、一流国際会議からの招待講演も多い。いずれも質は高い。 ・研究の水準としては高く、派生的な成果もかなり期待できる。 ・特許は適宜出願しており、登録も順調である。 ・論文掲載、国際会議発表、特許等を通して、研究成果の社会への波及効果は図られている。
	評価基準	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：質・量共に世界的水準である。</p> <p>7：優れた成果・効果が出ている（見込まれる）。</p> <p>5：平均的水準である。</p> <p>3：平均より少なく、対応策を練る必要がある。</p> <p>1：質・量共に大いに問題があり、プロジェクトは中止すべきである。</p>
	各委員の 評価点	10、8、10（順不同）
	平均評価 点	9.3（小数第二位以下四捨五入）

④総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・研究の方向性や得られている成果等、総合的見地から、非常に優れたプロジェクトとして評価できる。 ・最先端の基礎・基盤研究を展開し、世界から注目される成果を出している。 ・材料インフォマティクスとしての具体的な形が構築されることを期待する。 ・本プロジェクトが、半導体産業や半導体学界へ新しい展開を与えることを期待する。 ・成果の実用化への橋渡しにも努めてもらいたい。 	
	評価基準	総合評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。： 9：すべての点において模範的に優れている。 7：総合的に優れている。 5：平均的なプロジェクトである。 3：期待されたほどではない。計画の見直しが必要である。 1：上記評価項目①～③の評価結果に大きな問題があり、研究中止すべきである。
	各委員の評価点	8、9、10（順不同）
	平均評価点	9.0
その他 （気になる点、ヒアリングの第一印象など、なんでも） <ul style="list-style-type: none"> ・ヒアリングで、成果の内容がより詳しく分かった。いい結果が3つほど出ていると思う。 ・産業界へのインパクトについての説明がもう少しあってもよいかと感じた。 		

なお平均評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記する。
 評価委員の点数の平均点（小数点第二位以下四捨五入）をXとすると、S:X=10, S-:9≤X<10, A+:8≤X<9, A:7≤X<8, A-:6≤X<7, B+:5≤X<6,（以下同じ考え方）・・・とする。

平均評価点まとめ

研究開発の目的・目標管理、マネージメント	研究開発の進捗状況及び進め方	論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果	総合評価
S-	S-	S-	S-