

「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

| | |
|----------------|---|
| 分科会委員名簿 | 1 |
| プロジェクト概要 | 2 |
| 評価概要（案） | 6 |
| 評点結果 | 9 |

はじめに

本書は、第31回研究評価委員会において設置された「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成24年6月25日）及び現地調査会（平成24年6月18日））において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第33回研究評価委員会（平成24年11月13日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成24年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」分科会
（事後評価）

分科会長 財満 鎮明

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成24年6月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|----------------|--------------------|---|
| 分科 会長 | ざいま しげあき 財満 鎮明 | 名古屋大学大学院 工学研究科 結晶材料工学専攻 教授 |
| 分科 会長 代理 | たにぐち けんじ 谷口 研二 | 独立行政法人国立高等専門学校機構 奈良工業高等専門学校 校長 大阪大学名誉教授 |
| 委員 | いしうち ひでみ 石内 秀美 | 株式会社東芝 セミコンダクター&ストレージ社 統括技師長 |
| | うえの かずよし 上野 和良 | 芝浦工業大学 工学部 電子工学科 教授 |
| | くわた たかあき 桑田 孝明 | ルネサスエレクトロニクス株式会社 生産本部 副本部長 |
| | つじむら まなぶ 辻村 学 | 株式会社荏原製作所 取締役 常務執行役員 精密・電子事業カンパニープレジデント |
| | ひらもと としろう 平本 俊郎 | 東京大学 生産技術研究所 情報・エレクトロニクス系部門 教授 |

敬称略、五十音順

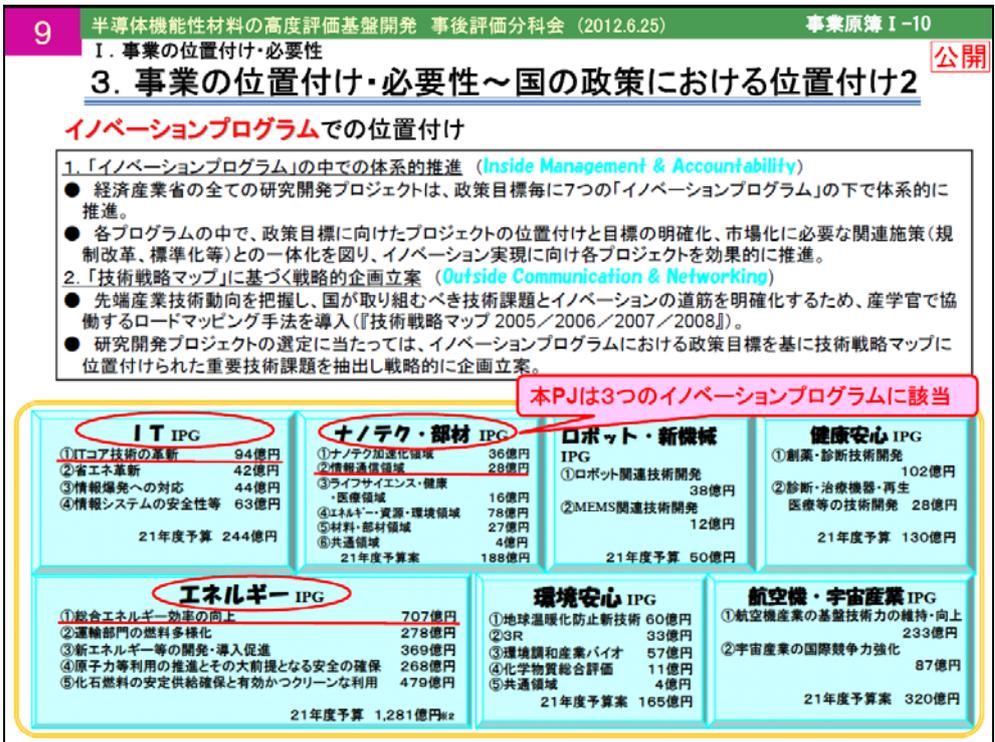
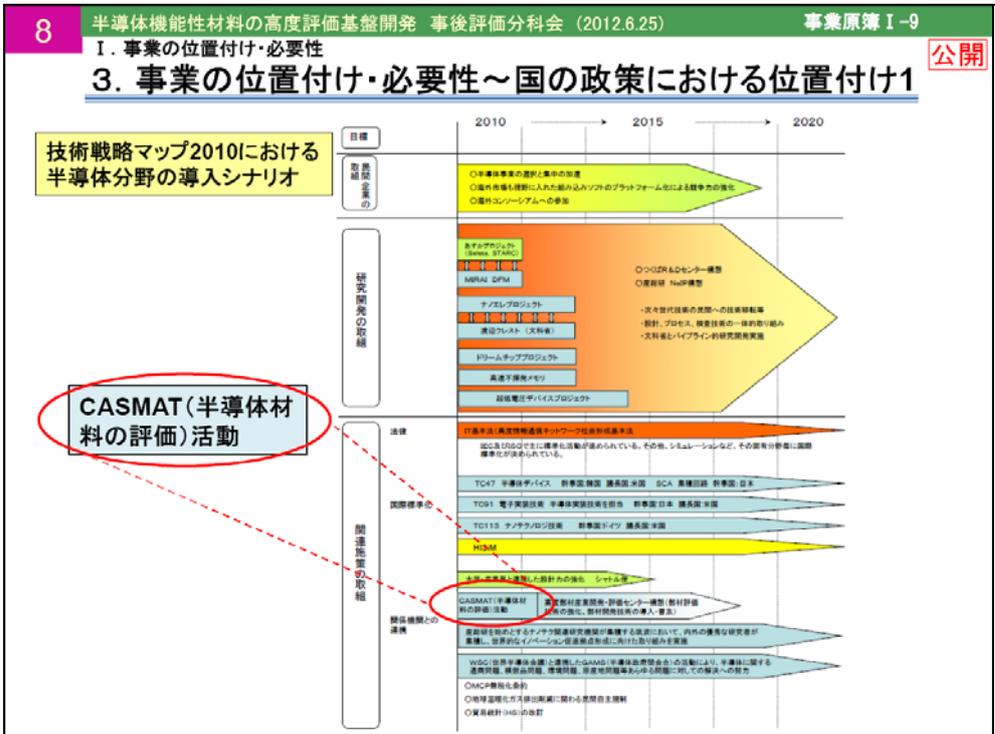
プロジェクト概要

| | | 最終更新日 | 平成 24 年 6 月 15 日 | | |
|-------------------------|--|----------|------------------|----------|-------|
| プログラム（又は施策）名 | ナノテク・部材イノベーションプログラム エネルギーイノベーションプログラム ITイノベーションプログラム | | | | |
| プロジェクト名 | 「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」プロジェクト | プロジェクト番号 | P09006 | | |
| 担当推進部/担当者 | 電子・材料・ナノテクノロジー部 沖 博美（平成23年4月～平成24年6月現在） 電子・材料・ナノテクノロジー部 廣石 治郎（平成22年4月～平成23年3月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 岡部 豊（平成21年4月～平成22年3月） | | | | |
| 0. 事業の概要 | 本技術開発により、回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっている微細環境下のナノレベルでの材料間の相互影響まで評価可能な統合部材開発支援ツールを開発し、情報通信機器の高機能化、低消費電力等の要求を満たす半導体集積回路用材料の開発基盤技術を構築し、我が国の材料メーカーの競争力を維持・強化することを目的とする。 | | | | |
| I. 事業の位置付け・必要性について | <p>我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。</p> <p>そこで本プロジェクトは、「部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定めるとともに、材料関係者だけでなく多様な連携（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携等）による基盤技術開発を支援することで、部材分野の技術革新を促進すること」を目的としたナノテク・部材イノベーションプログラム、我が国エネルギー供給の効率化に資するエネルギーイノベーションプログラム及びITの利活用の深化・拡大を図り、より豊かな国民生活を実現するとともに、我が国の経済活力の向上を図ることを目的とするITイノベーションプログラムの一環として実施する。</p> <p>また、本プロジェクトで取り扱う対象部材は半導体集積回路に用いる製造材料のかなりの範囲を占めるため、一研究機関又は一企業での開発ではハードルが高く、リスクも大きい。このため、NEDOは、独自の材料開発技術を持った複数の産学の科学的知見を結集し、半導体集積回路のフロントエンドから配線工程、パッケージ組立工程までの一貫したプロセス検証を行うことによって信頼性のある統合部材を提供できる評価基盤を確立し、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を行うとの事業方針に基づき、プロジェクトを実施するものである。</p> | | | | |
| II. 研究開発マネジメントについて | | | | | |
| 事業の目標 | 半導体デバイス性能に直結する接合素子（p-n 接合、SiO ₂ -Si 接合）の性能・信頼性まで含め、半導体製造プロセス全体を俯瞰して半導体材料が開発できる材料評価基盤を構築する。 ①接合素子を含む材料評価用配線 TEG の開発 ②材料による金属汚染、応力影響の評価方法の開発 ③半導体プロセス全体を考慮した材料評価基盤の開発 | | | | |
| 事業の計画内容 | 主な実施事項 | H 2 1 fy | H 2 2 fy | H 2 3 fy | |
| | ①接合素子を含む材料評価用配線 TEG の開発 | | | → | |
| | ②材料による金属汚染、応力影響の評価方法の開発 | | | → | |
| | ③半導体プロセス全体を考慮した材料評価基盤の開発 | | | → | |
| | 成果とりまとめ | | | → | |
| 開発予算 （単位：百万円） | 会計・勘定 | H 2 1 fy | H 2 2 fy | H 2 3 fy | 総額 |
| | 一般会計 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 特別会計（需給） | 6 0 | 4 0 | 4 0 | 1 4 0 |
| | 加算予算 （成果普及費を含む） | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 契約種類： 助成（負担率 1/2） | 総予算額 | 6 0 | 4 0 | 4 0 | 1 4 0 |

| | | |
|---------------|--|---|
| 開発体制 | 経産省担当原課 | 製造産業局化学課 |
| | 委託先 | 次世代半導体材料技術研究組合 (平成21、22年度は材料メーカー7社、 平成23年度は材料メーカー6社で構成) |
| 情勢変化への対応 | 半導体デバイスの需要は上昇傾向にあり、開発期間短縮への要望は依然として強く、部材への要求も厳しいものとなっているため、材料評価基盤構築の必要性は高い。開発した材料評価基盤を情勢が変わっても継続して活用できる体制作りを実施した。 | |
| 評価に関する事項 | 事前評価 | 平成20年度実施 電子・材料・ナノテクノロジー部 |
| | 事後評価 | 平成24年度 事後評価実施 |
| Ⅲ. 研究開発成果について | <p>【事業全体】 新材料開発のネックとなっているのは、材料を半導体製造工程に導入したときの問題点や課題を的確に且つ迅速に把握する評価技術が不十分であるという新材料開発のネックを解消するために、本事業では、これまでの配線素子に加え、接合素子を用いて、フロントエンドからバックエンド及びパッケージに至る半導体工程全体を一貫して材料影響を把握できる評価技術を開発した。新機能性材料の開発に貢献する評価基盤技術の開発とともに、その新機能性材料を用い、半導体製造に適用できる統合的なソリューション技術を開発した。</p> <p>【個別テーマ毎】</p> <p>研究開発項目① 接合素子を含む材料評価用配線 TEG の開発 従来 TEG マスクよりも材料とプロセス条件が接合素子の初期特性や信頼性に与える影響をより高精度な定量的抽出ができるように、種々の接合素子のパターン形状、寸法、構造などを変更して新規 TEG マスクを設計し、そのマスクを用いて接合素子を含む TEG ウェーハの外注試作を行った。新規 TEG においては、評価結果からの見直しを一部行い、より高精度な評価ができるように修正版の外注試作・評価も行った。 その新規 TEG の形状観察や電気特性の測定を行って、接合素子の機能を検証し、さらに配線工程を付加した場合に材料評価専用 TEG としての機能が発揮できるか検討した。</p> <p>研究開発項目② 材料による金属汚染、応力影響の評価方法の開発 300mm シリコンウェーハ上に接合素子を作製し、2層配線形成及びバッファコート材料を用いて膜形成を行い、Cu などの重金属汚染による接続素子の影響を評価した。 また、配線腐食を高感度に測定できるように、P 型基板と N 型基板を用いた腐食評価用 TEG による腐食評価などを行った。 それらの結果に基づいて、製造工程に用いる半導体材料あるいは製造プロセスによる接合素子への影響（金属汚染、応力、電荷蓄積など）が把握できる電気特性の測定方法や解析方法の開発を行った。</p> <p>研究開発項目③ 半導体プロセス全体を考慮した材料評価基盤の開発 FEOL と BEOL を連続して試作できる TEG（FEOL/BEOL 統合 TEG）を開発し、その TEG を用いて BEOL の材料評価技術を開発する。対象とするパッケージをワイヤーボンド型とし、QFP 組立を実施、素子特性測定、解析を行い、接合素子と Cu/low-k 配線を有するウェーハのパッケージ組立工程の基準プロセスを想定し、そのプロセスによる熱、応力、水分などが接合素子や配線素子に及ぼす影響を検討した。</p> | |
| | 外部発表 | 「査読付き」12件、「その他」7件 |
| | 特許 | 「出願済」13件、「登録」0件 特記事項：全て評価方法に関する特許。開発材料の特許、組合員企業に帰属する仕組みとなっている。 |
| | その他の外部発表 (プレス発表等) | 「外部向け研究報告会」1件 |
| | Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて | 本プロジェクトの研究開発成果の材料評価基盤の実用化は、①TEG：ライセンス許諾により継続入手可能に②材料評価基準書：既に活用中であり、引き続き活用③評価方法に関する特許：組合員による活用と、普及のためのライセンス許諾という形で実施される。材料メーカーによる半導体材料の事業化は、材料評価基盤の活用により促進される。 |
| Ⅴ. 基本計画に関する事項 | 作成時期 | 平成21年3月 作成 |
| | 変更履歴 | なし |

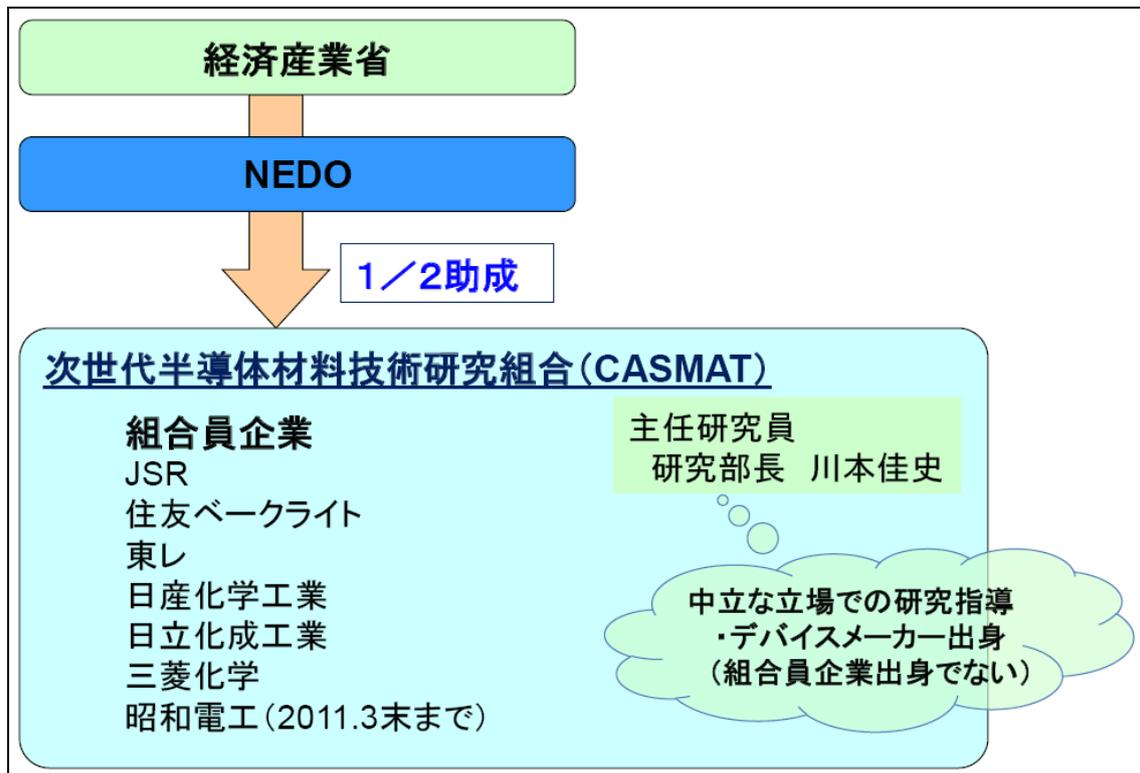
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料5-1より抜粋)



「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」

全体の研究開発実施体制



「半導体機能性材料の高度評価基盤開発」(事後評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは評価対象プロセス領域を広げながら一貫して材料評価技術基盤を構築してきた。競合する材料メーカーが企業の枠を超えて集結し、300mm ウェーハにおいてデバイスまで含めた評価を行うという画期的な試みであり、このような枠組みを作り上げた意義は大きい。新材料の評価基盤(装置だけでなく、TEG 及び評価基準)が整備されたことにより、材料メーカーの研究開発力が向上すると共に、新材料がビジネスに繋がる機会が増えている。国際的に競争力の高い日本の材料メーカーの技術力をより強固なものとするだけでなく、デバイスメーカーにとっても競争力強化に繋がっている。また、人材育成や「競合」企業の参加に対するマネジメント手法など、有形、無形の部分で非常に有益な成果が得られた事業として、高く評価できる。

CASMAT 解散後の材料評価基盤の活用、維持という課題に関しては、デバイス技術の進展に対応して共通評価基盤の改善や認知度向上に向けた仕組みづくりが重要であり、プロジェクト終了後も業界としての普及に向けた取組みが継続されることを期待する。

2) 今後に対する提言

新材料の導入や三次元デバイス、三次元集積化など、半導体デバイス技術には急激な変化が起こり始めており、このような時期に CASMAT が終了することは大変残念なことと言わざるを得ない。但し、社会・経済情勢も急激に変化しており、今までと同じスキームでは対応できない可能性が高いのも事実であろう。

CASMAT による材料評価の基盤構築により、日本の材料メーカーが競争力を持つ仕組みができたが、CASMAT 終了後も、競争力を維持・増強できる仕組みが必要である。300mm への対応は奏功したが、450mm への対応に関しても、どのような対応がさらなる競争力向上に必要なのか、今から考える必要がある。現状で我が国の材料メーカーは世界的に確かに強いが、今後も国内に閉じていると次第に世界から取り残される結果となる可能性が高い。新たな枠組みでは、世界に門戸を開きつつ、我が国の材料メーカーの強みを最大限に発揮して我が国がリーダーシップを発揮できるような戦略が強く求められる。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

半導体デバイスメーカーの国際競争力が低下し、技術開発スキームが変貌していく中で、わが国の強みの一つである半導体材料メーカーの競争力を今後も引き続き維持・向上させることはわが国の国際競争力強化にとって極めて重要である。そのための材料評価技術基盤の構築を目指した本事業は、強いニーズがありながら民間企業だけでは到底実施出来なかったものであり、NEDO が関与して初めて可能になった事業として高く評価できる。

半導体材料メーカーにとっては、共通の材料評価指標が整備されることは、材料の完成度のベンチマーク、デバイスメーカーへの提案力向上など、競争力向上に大きな効果が期待できる。CASMATⅢで、デバイスの評価の観点を取り入れた評価 TEG 及び評価基準の構築を目標としたことは、材料開発力の強化に貢献できた。このことから、日本の国際競争力を強化する意味で、事業の目的は妥当であった。

2) 研究開発マネジメントについて

半導体材料メーカーの競争力を底上げする目的に対して、研究開発の目標が適切に設定され、計画も妥当であった。特に、「競合」企業の参画を可能にした運営方針と運営体制は高く評価されて良い。集積回路のプロセスインテグレーションを経験したデバイスメーカー出身の技術者が中立的な立場で組合員企業（材料メーカー）の研究指導にあたる体制を構築し、競合関係にある半導体材料メーカー間の利害を適切にマネジメントしながら、協調領域の評価基盤の確立、活用を円滑に運営した。また、材料の評価結果の公開・非公開の明確化により各メーカーの個別技術の保護が図られた。その結果、共通の評価環境が構築できた事により、同業他社とのベンチマークも可能となり、自社の強みと弱みを知り取捨選択の結果、得意分野に注力できる機会を提供できた。

また、今後の半導体産業での利用拡大が見込まれる、低誘電率絶縁膜、CMP 用スラリー、バッファコート材料など、適切なテーマ設定をした。その開発のために TEG を用いた電氣的評価を行う点も、技術の本質をついていて、良いアプローチであった。

3) 研究開発成果について

半導体プロセス全体を俯瞰して材料評価基盤を短期間で完成させ、評価 TEG の作製及び評価基準を作成したことは有意義であり、成果は汎用性があり目標をクリアしている。また、予算規模を考慮すると費用対効果は十分にあった。当初の目標（テーマ）を断念したものもあるが、選択する能力を身に付け、効

率的な研究開発を行えたことも成果の一つと評価する。評価 TEG の中に PN 接合及びトランジスタが存在することにより、配線系だけの TEG では得られない重要な評価（より実用に近い評価）が可能となった。従来では、材料メーカーが FEOL*1 を考慮した評価・検討を行うことはできなかった。今回それが可能な評価基盤が整備できた。また、評価 TEG の設計検証の時期は適切であった。その後の材料メーカーの大量活用に貢献できた。RO*2 を用いた実効配線間容量測定、電池効果による Cu 研磨時の腐食、バッファコートに於ける剥離耐性係数など、デバイスメーカーの視点を考慮した評価方法を確立できた。これらは、材料メーカーがデバイスメーカーに新材料を提案する上で、重要な知見である。

一方で、CMP*3-TEG は素晴らしい成果だと高評価できるものであり、この TEG を承継した会社に期待する。評価方法などの知的財産権は、海外でも権利を取得すべきであった。

- *1 : FEOL (Front End Of Line の略。Si 基板上にトランジスタ等の素子を作る一連の工程。)
- *2 : RO (Ring Oscillator。インバーターを奇数段リング状に接続した発振回路で、構成素子の特性や負荷の特性に応じて発振周波数が変化する。)
- *3 : CMP (Chemical Mechanical Polishing (化学的機械的研磨)。シリカ粒子を含んだ研磨液 (スラリー) をウェーハ表面に流しながら、スピンドルに貼り付けたウェーハを回転テーブル表面の研磨パッドに圧着させて研磨する方法。)

4) 実用化、事業化の見通しについて

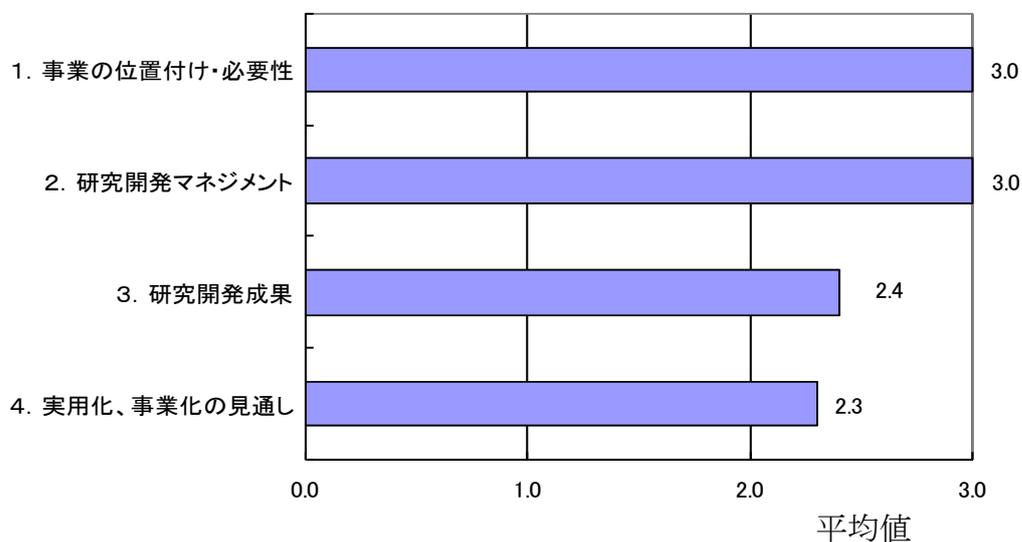
参加した材料メーカーが評価 TEG 及び評価基準を利用し、多くの新材料の評価を実施している。評価 TEG 試作の直後から材料の評価実績件数が急に増大していることより、評価 TEG 及び評価基準が材料メーカーにとって意味あるものであったことが認識できる。TEG を使った評価により、製品開発の完成度が高まっており、材料メーカーにとって実用化に向けての課題は明確化されたと考える。また、評価基盤が整備される事により、材料メーカーが、デバイスメーカーに対して提案力を持つことができ、ビジネスに繋げる機会が増大した。結果として、材料メーカーの競争力強化となっている。

参加企業が評価基盤技術の有効性を認識し、解散後も自社に持ち帰り、評価基盤の事業への活用を考えていること、TEG の供給を受けられる体制が整えられていることは評価できる。

一方で、次世代、次々世代を鑑みての対応 (450mm 対応を含む、将来にわたっての競争力の維持・向上) も踏まえて業界全体としての具体的な取り組みに繋

がって行くことを期待する。また、本プロジェクトで確立した材料評価基盤が半導体材料の分野において世界的に認められるようなものとなれば、顧客が新材料を選択する際に我が国の材料メーカーにとって有利となる。現状、TEGに世界スタンダードはないが、デファクトスタンダードとなりうるようなTEGの普及に期待する。

評点結果〔プロジェクト全体〕



| 評価項目 | 平均値 | 素点 (注) | | | | | | | |
|--------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | A | A | A | A | A | A | A |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3.0 | A | A | A | A | A | A | A | A |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 3.0 | A | A | A | A | A | A | A | A |
| 3. 研究開発成果について | 2.4 | B | B | A | A | B | A | B | B |
| 4. 実用化、事業化の見通しについて | 2.3 | A | B | B | A | B | B | B | B |

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

| | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化、事業化の見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当であるが、課題あり →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |