

# 「次世代高度部材開発評価基盤の開発」

## 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 .....	10

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

「次世代高度部材開発評価基盤の開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成21年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	むらかみ まさのり 村上 正紀	立命館 副総長・教授 (京都大学名誉教授)
分科会長 代理	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
委員	いずみや わたる 泉谷 渉	株式会社産業タイムズ社 東京編集部 専務取締役 編集局長
	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
	かさい なおき 笠井 直記	日本電気株式会社 デバイスプラットフォーム研究所 研究統括マネージャー
	ふくなが あきら 福永 明	株式会社荏原製作所 精密・電子事業カンパニー技術統括部 副統括部長 兼 技術企画室長

敬称略、五十音順

事務局：独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価部

## プロジェクト概要

最終更新日

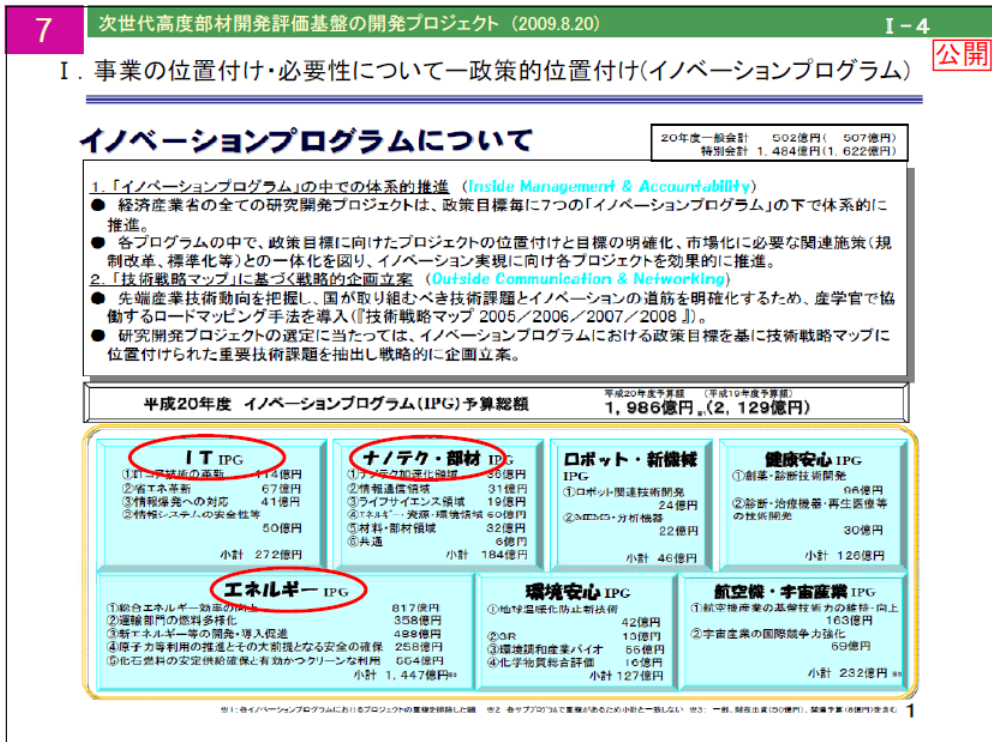
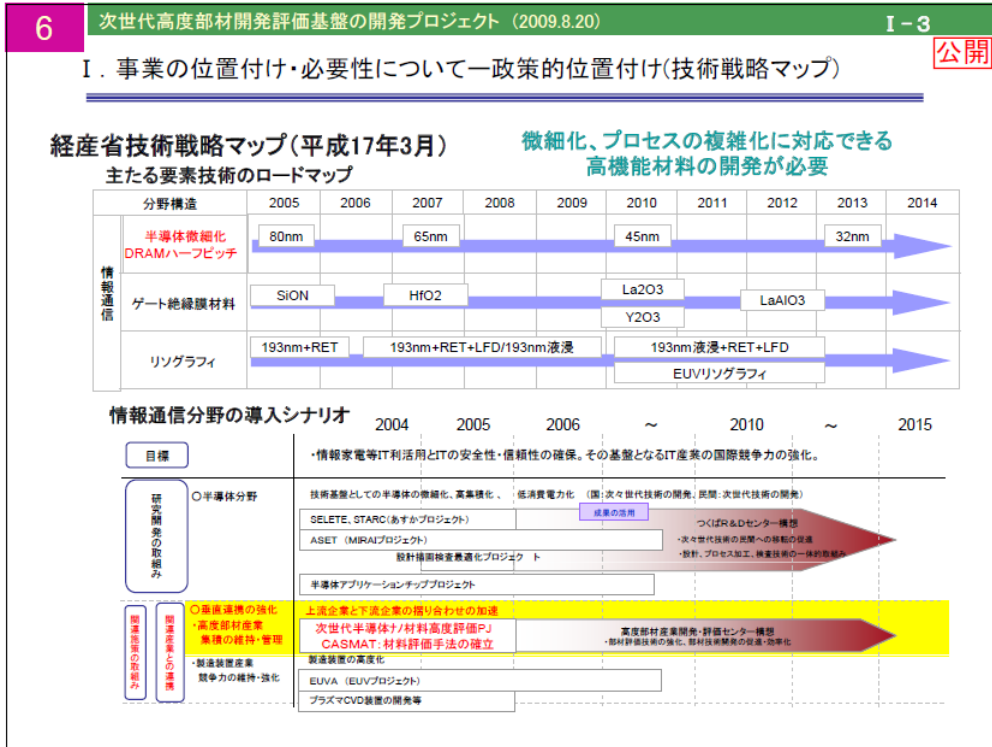
平成21年6月19日

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	次世代高度部材開発評価基盤の開発	プロジェクト番号	P06033		
担当推進部/担当者	ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名岡部豊(2009年7月現在) ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名西木玲彦(2005年7月～2008年3月)				
0. 事業の概要	本プロジェクトでは最適統合させた半導体バックエンド部材開発評価の基盤整備を行う。本研究開発により、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(TEG)を開発し、情報通信機器の高機能化、低消費電力化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の構築ならびに半導体に適用する部材の統合的ソリューションを提案する。				
I. 事業の位置付け・必要性について	微細化が進む半導体分野では、部材、製造装置、半導体プロセスの個別開発による半導体製品の性能向上は限界にきている。部材開発においても、製造装置やプロセスを含めた全体を最適統合して高性能化する課題解決型の開発が必要となっている。本事業では、半導体バックエンド以降の部材開発を強化、加速するため、部材を最適統合して評価できる評価基盤を開発し、整備する。本評価基盤は、新規部材を最先端の半導体バックエンドプロセスおよびパッケージプロセスに投入し、ナノレベルでの材料間の相互影響等を評価して部材の課題を抽出し、部材、装置、プロセスにフィードバックすることにより、部材開発を加速する。また高精度、高感度な評価を行うため、統合部材開発支援ツールとしての TEG(Test Element Group)を開発する。さらに、本評価基盤の整備により、新たな部材を用いた半導体プロセスの統合部材ソリューション(部材とプロセス相互の影響をも考慮して、部材の性能と機能を十分に発揮させる最適な半導体プロセス)を開発することが可能となり、その提案を行う。これにより、情報通信機器の高機能化や低消費電力化の要求を満たす半導体集積回路への新規部材の実用化を促進することができる。				
II. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	①「半導体デバイスにおける多層配線の評価技術とパッケージ工程までの一貫した評価基盤の確立」 (1)Low-k 材料のダメージ耐性評価方法の開発 (2)統合部材開発支援ツール(TEG)の開発 (3)パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立				
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	
	Low-k 材料のダメージ耐性評価方法の開発			→	
	統合部材開発支援ツール(TEG)の開発			→	
	パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立			→	
	成果とりまとめ			→	
開発予算 (会計・勘定別に 事業費の実績 額を記載) (単位:百万円) (助成)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	総額
	一般会計	0	0	0	0
	特別会計 (一般・電源・需給の別)	441	199	110	750
	加速予算 (成果普及費を含む)	0	0	0	0
	総予算額	441	199	110	750

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 (材料メーカー10社で構成)
情勢変化への対応	H20 年後半からの世界同時不況の中、半導体デバイスの需要は大幅に低下しているが、部材評価基盤の構築の必要性はむしろ高まっている。研究開発に際しては、Selete、産業技術総合研究所とNDAを締結して情報交換を実施した。	
評価に関する事項	事前評価	2005 年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部
	事後評価	2009 年度 事後評価実施
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>(1)Low-k材料のダメージ耐性評価方法の開発 Low-k 材料は UV キュアにより誘電率上昇を抑えながら機械強度を向上できるが、その効果は材料や処理条件に依存すること、ウェーハ反りによって応力残留がある事がわかった。2層配線試作結果から、実用電界強度における信頼性には問題ないこと、絶縁破壊特性が改良される事がわかった。多層配線を形成するプロセスにおける CVD 膜堆積、エッチング、アッシングなどのプラズマ照射の影響を精度良く測定する測定法を開発、Low-k 材料のプロセスダメージを定量的に把握する評価法を確立して材料改良指針を発信した。また、Low-k 材料に Cu 拡散防止性を持たせることによって、バリアメタルの膜厚を薄くし、配線全体の RC 積を低減、信頼性を向上させる配線構造とその製造プロセスを確立し、トータルソリューションとして学会で報告した。</p> <p>(2)統合部材開発支援ツール(TEG)の開発 45nmノード対応材料評価のために TEG マスクを設計し、2層配線を試作して機能を検証した。改良した TEG マスクを導入することによって、Via チェーンのポイズニングを防止し hp80nm 配線を高歩留まりで形成する基準プロセスを確立した。各種 Low-k 材料を用いた8層配線を試作して、その電気特性を測定、多層配線における Low-k 材料の評価基準を確立した。CMP 研磨条件とディッシング、エロージョンなどの配線平坦性を詳細に評価するために、配線密度の異なるパターンを配置した CMP 専用の TEG マスクを設計した。各種スラリー間の CMP 研磨特性の差を明確にするとともに、CMP 研磨によるウェーハ上の欠陥を歩留まりで検出することに成功した。</p> <p>(3)パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立 対象パッケージを MCP、WBBGA、FCBGA とし、配線工程を終了したウェーハを用いてパッケージを試作した。得られた知見からパッケージ工程専用の TEG マスクを設計し、配線工程からパッケージ工程に至る各プロセスでのひずみや電気特性を検証した。各種環境耐性での測定からウェーハレベル信頼性評価基準を開発した。また 50m<math>\mu</math>m以下に研削された薄膜 Si の8段 MCP の試作によって、応力集中によるパッケージ内の剥離のメカニズムを検証した。これらの知見に基づいて各種材料のパッケージ工程までの一貫評価基準書を作成した。作成した評価基準書は材料評価基準書96、基準プロセスフロー34、一貫評価基準書36である。これらにより、評価対象材料について配線工程からパッケージ工程までの一貫した材料評価基盤を確立した。</p>	
	投稿論文	「査読付き」15 件、「その他」11 件
	特許	「出願済」28 件、「登録」0 件、「実施」0 件
	その他の外部発表 (プレス発表等)	外部向け「研究報告会」H18/11 月、H20/7 月、雑誌発表 1 件
	Ⅳ. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本プロジェクト研究開発の成果の企業化は①材料評価方法の開発と標準化から得られた成果を半導体材料メーカー、半導体デバイスメーカー、半導体製造装置メーカーに評価の請負や技術移転のサービスを行うこと、今後取得する産業財産権の実施許諾による実施料収入を得ること②開発支援ツール(TEG)の開発から得られた成果により、上記の各メーカーに対して TEG の試作サービス、TEG の販売、TEG に関して今後取得する産業財産権の実施許諾による実施料収入を得ること、を実施できる見込みである。一方、本プロジェクトの研究成果は、組合を構成している材料メーカーの材料開発に反映されることによって新製品が市場に投入され、ユーザーへの採用が促進されている。今後この傾向はさらに加速されていく見込みである。</p>
Ⅴ. 基本計画に関する事項	作成時期	平成18 年3 月、制定
	変更履歴	平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

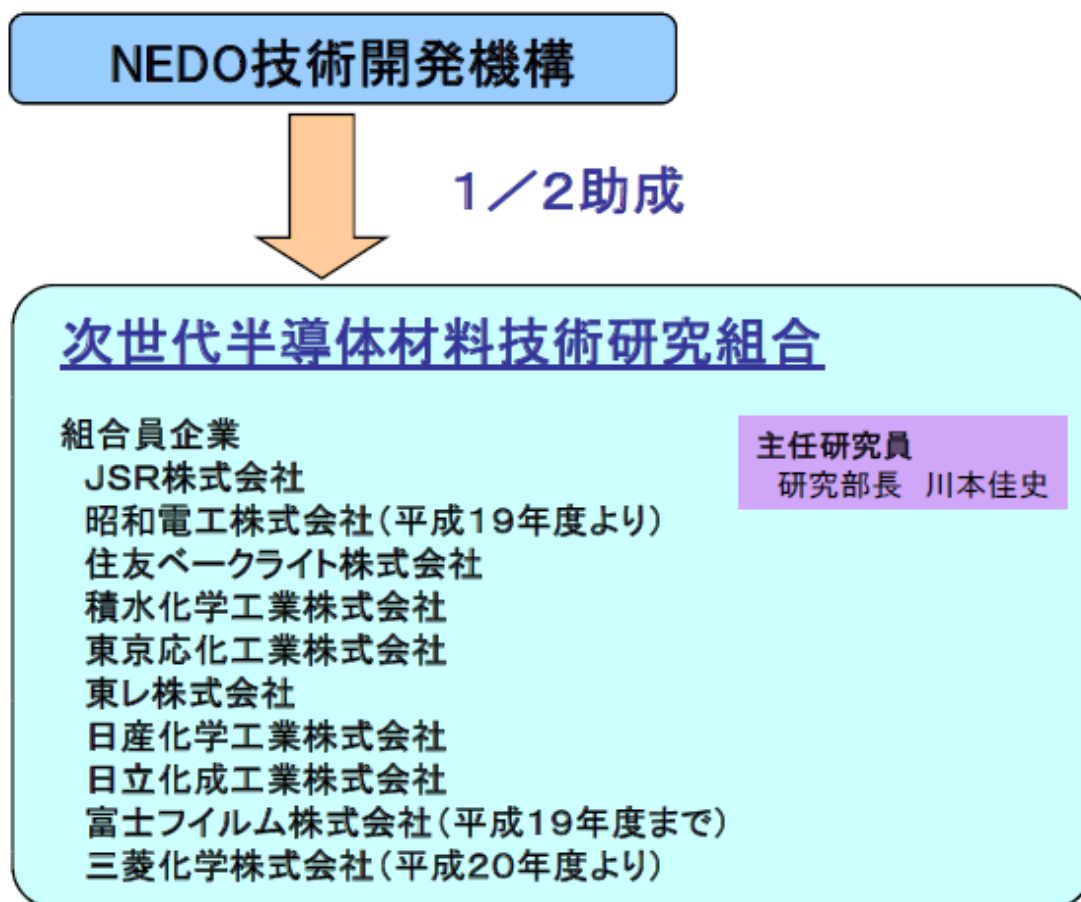
技術分野全体での位置づけ

(分科会資料5-3より抜粋)



「次世代高度部材開発評価基盤の開発」

全体の研究開発実施体制



## 「次世代高度部材開発評価基盤の開発」（事後評価）

### 評価概要（案）

#### 1. 総論

##### 1) 総合評価

半導体デバイスの多層配線形成工程からパッケージ工程までの部材評価はこれまで個別のデバイスメーカーが実施してきたが、日本が世界に先駆け、これを材料メーカーにおける材料開発の段階で可能としたことは半導体産業全体の開発効率化に大きく寄与するものである。また、研究開発経費の削減と研究開発期間の短縮に大きな効果が得られ、当該分野への新規材料メーカー参入のハードルを下げ、技術者教育・人材育成に貢献したと高く評価する。さらに、標準的な実機でのデータ取得とデータ信頼性向上に寄与し、デバイス企業出身者が加わっていることで実質的にコンサルタント機能を果たしている点でも評価する。

しかし、Low-k（低誘電率）材料の評価については、部材評価データと物性との間の関連づけが必ずしも十分でなく、現段階では、塗布 Low-k 膜の実用化への見通しが得られていない。

従来、新材料導入など先行開発を担ってきた国内デバイスメーカーが、その役割を果たせなくなってきた中で、日本が強みを持つ半導体関連材料産業を維持発展させるためには、このような材料評価の事業の役割は大変重要で、今後この仕組みを維持していく必要がある。

##### 2) 今後に対する提言

微細化のみの事業前提は今後見直す必要があり、後継プロジェクト(CASMAT III)に反映して欲しい。ひたすらに微細化が進むという前提はぜひ是正しないとけない。

今後の成果拡大には装置メーカーの次世代半導体材料技術研究組合(CASMAT)への参加も必要と考えられる。

CASMAT のような材料評価センターの活動は短期で終わるべきものでなく、CASMAT を継続的に維持活用できるような「常設機関化」を考える段階であろう。CASMAT が、それこそ海外の材料メーカーに代わって全部評価する位の機関になれば素晴らしい。

#### 2. 各論

##### 1) 事業の位置付け・必要性について

材料メーカー中心に CASMAT を組織し、世界に先駆けて材料評価センター機能の充実と評価基盤の構築を果たした意義は大きい。材料産業は川上産業であり、少数の民間企業のみで高額なインフラを整備することは難しく、国家戦略としての CASMAT 事業の公共性と必要性は高いと言える。また、本事業の期間において、パッケージ工程に対する影響の評価を追加したことによって、評価のしくみとしての厚みが大きく増した。さらに、材料メーカー技術者が、TEG (Test Element Group) とその評価方法を理解した点は今後の技術開発にとって極めて有用である。

しかし、Cu/Low-k を量産使用しているデバイスメーカーの割合は残念ながら海外が多く、本評価基盤がそれらの要求をも含めてどれだけ汎用性の高いものであるか、将来にわたりそれをどのように担保するか、十分な目配りが必要と考える。

## 2) 研究開発マネジメントについて

多種多様な企業や競合企業を CASMAT として取り纏めることができ、各参加企業が機密を保持しつつ、自社がどの位置にいるかのベンチマークを可能にしたことを非常に高く評価する。また、インフラ整備や TEG 開発により、材料メーカーとデバイスメーカーとの間の技術障壁が非常に低くなったと評価する。パッケージ工程に至るまでの材料評価を可能とするなど、波及効果の極めて大きい目標を設定し、これを確実に実現したことも高く評価できる。さらに、TEG の信頼性を始め、本プロジェクトの成果の妥当性を保証しているのは、ライン維持ならびにプロセス開発を行っているデバイスメーカー出身者の実力に依存するところが大きい。半導体材料の開発にデバイスメーカー出身者の参加が可能になったのは、NEDO の開発プロジェクトならではのことである。

しかし、現在は微細化軸に重心を置いた開発・評価となっているが、デバイスの世界は多様化軸にも開発が広がりつつあり、この動きを睨んだ部材評価基盤の提案があっても良いであろう。さらに、当該分野への新規参入材料メーカーの参加メリットが大きい反面、既参入材料メーカーに対するメリットが必ずしも明確でない。

## 3) 研究開発成果について

先端プロセスを確立し、パッケージ工程までの一貫した部材評価を可能とした点を高く評価する。また、TEG による評価データを参加企業に公開する方法が工夫されており、データを有効に活用できる点も評価できる。さらに、参加企業の研究者に対するプロセス並びに評価の技術トレーニングも行われているので、個別の部材評価結果が単なる良し悪しのデータではなく、何故そのよう



に評価されるのかが理解できるようになっており、その後の改善・開発に繋がるスキームが出来上がっている。いずれの目標値も全てクリアされている。

しかし、Low-k 材料に関しては、現在の業界標準である CVD 膜と、本プロジェクトで検討した塗布膜及び CVD 膜とのベンチマークが十分であるとは言えない。また、国際的認知度を高めることや、国際標準化へ向けて活動することが必要である。CASMAT のような材料評価センターの活動は短期で終わるべきものではなく、企業化も含めた将来構想を検討することが重要である。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

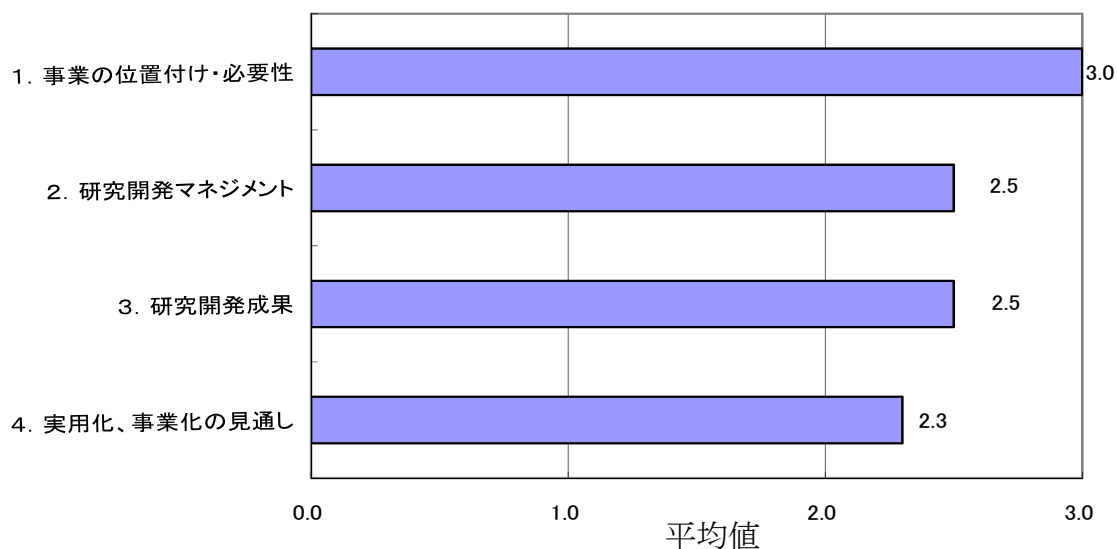
CASMAT を利用したことによって、市場参入までの期間の短縮化と売り上げ増が実現された。また、各材料に対するベンチマークがほぼ明確になり、得られたデータが、各参加企業における技術判断／経営判断に反映されている。さらに、次世代を担うと期待される材料の評価データを CASMAT のお墨付きとして各参加企業がユーザー企業に提供し、それをユーザー企業が高く評価しつつある。

しかし、CASMAT としては、材料メーカーとデバイスメーカーとの橋渡し機能を持つ必要がある。また、半導体産業は今や、世界の 8 割以上を海外企業が占めており、海外にも CASMAT の評価システムとそのデータの有効性をもっとアピールすべきである。さらに、現段階では、塗布 Low-k 膜の実用化への見通しが得られていない。

## 個別テーマに関する評価

	成果に関する評価；実用化及び事業化の見通しに関する評価；今後に対する提言
Low-k 材料のダメージ耐性評価方法の開発	<p>標準的な実機を完備することによって、データの信頼性、有用性が上がったと言える。特に、UV キュア装置が導入されて、Low-k 材の特性改善評価ができるようになったことは、各参加企業の材料開発を大きく支援するものになったと評価する。また、UV キュアに関しては、プロセス開発的などころまで踏み込んだことによって、ダメージ評価の厚みが増した。</p> <p>しかし、Low-k 材料に関しては、現在の業界標準である CVD 膜と、本プロジェクトで検討した塗布膜及び CVD 膜とのベンチマークが十分であったとは言えない。また、材料評価データと基礎物性との関連づけが希薄に感じられ、サイエンスに繋げるための産学連携の強化が必要である。</p> <p>バリア性を有するポリマー系の新規 Low-k によるソリューションは、有望な技術であろうが、実用化への障害をより明確にする必要がある。</p>
統合部材開発支援ツール(TEG)の開発	<p>TEG 開発プログラム及びその開発された TEG は高く評価できる。特に、CMP（化学的機械的研磨）の平坦性評価用 TEG は、電氣的に平坦性を評価できる点が素晴らしい。デバイスメーカーが基本的に必要とするデータを取得できる TEG の開発は、材料開発を促進するとともに各デバイスメーカーでの重複した評価を不要とするなど、半導体産業全体で見た開発の効率化を実現するものである。</p> <p>しかし、TDDB（Time Dependent Dielectric Breakdown）の他に EM（エレクトロマイグレーション）など配線信頼性に対する評価の充実が望まれる。また、材料物性に影響を与える因子の洗い出しが、必ずしも十分とは言えない。</p> <p>開発された TEG が材料評価の世界基準として認知されるよう広く PR すべきであり、積極的に外販することで収益を上げることを考えて欲しい。</p>
パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立	<p>材料からパッケージ工程までの一貫した評価を、世界で初めて行った点は高く評価できる。しかも、材料開発の段階でパッケージ工程での課題が判るようになったことは画期的であり、半導体業界全体として開発コストの低減につながるものである。</p> <p>しかし、パッケージ工程については、問題点を電氣的・分析的に把握できる評価システムの構築を期待する。特に、分析的な評価は大学との連携強化を望む。また、ワイヤーボンド工程については、湿度特性や、引っ張りのメカニズムなどまだ検証されていない点がある。</p> <p>多様なパッケージがあるため難しいであろうが、評価方法や基準の妥当性を検証し、標準化を推進することが望ましい。</p>

## 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
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.5	A	B	B	A	A	B
3. 研究開発成果について	2.5	A	B	A	A	B	B
4. 実用化、事業化の見通しについて	2.3	B	A	B	B	B	A

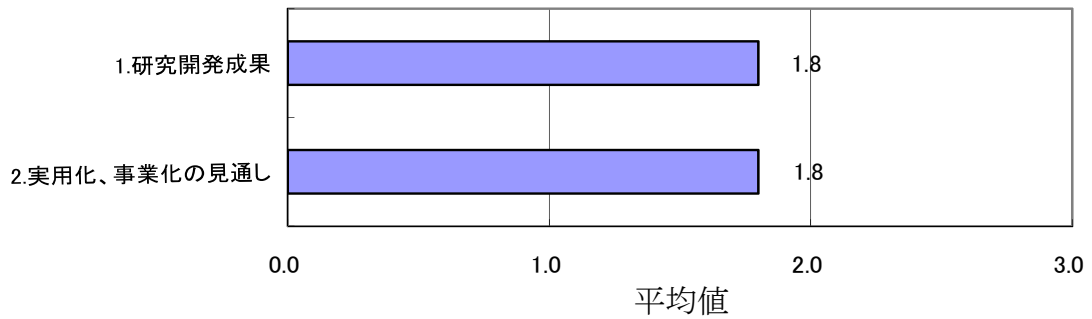
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

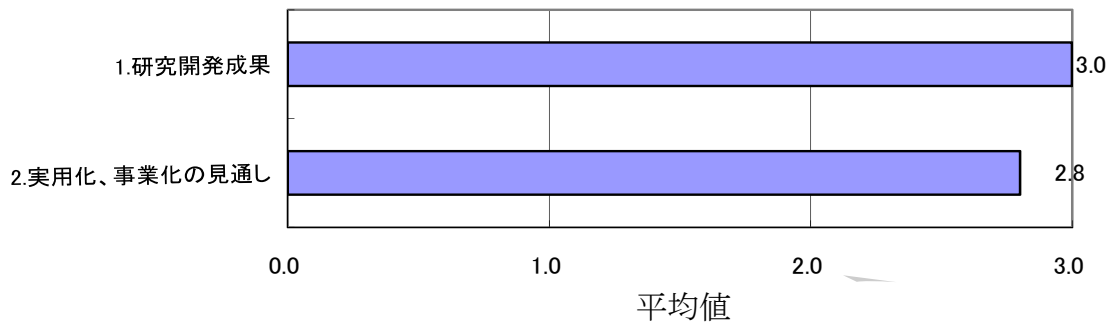
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 評点結果〔個別テーマ〕

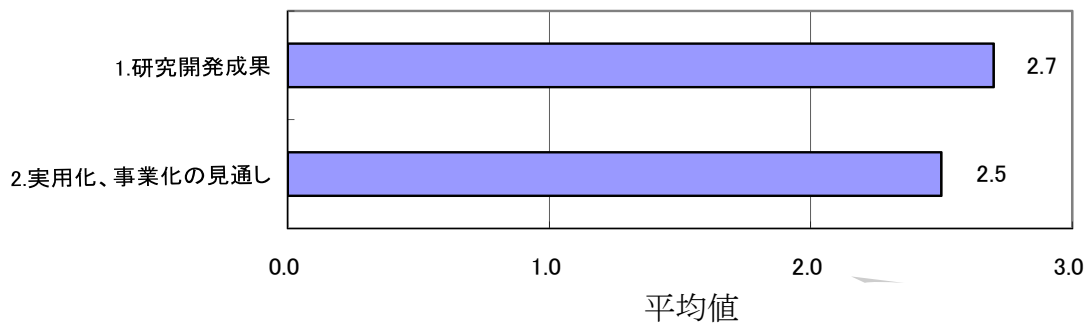
### Low-k 材料のダメージ耐性評価方法の開発



### 統合部材開発支援ツール(TEG)の開発



### パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)					
Low-k 材料のダメージ耐性評価方法の開発							
1. 研究開発成果について	1.8	B	C	C	A	A	C
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.8	B	B	C	B	B	B
統合部材開発支援ツール(TEG)の開発							
1. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.8	A	A	B	A	A	A
パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立							
1. 研究開発成果について	2.7	A	B	A	A	A	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.5	B	A	B	B	A	A

(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. 研究開発成果について	2. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい	→A ・明確
・よい	→B ・妥当
・概ね適切	→C ・概ね妥当であるが、課題あり
・適切とはいえない	→D ・見通しが不明