

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子デバイス用超平坦性ダイヤモンド基板の
自動切削研磨技術開発」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人国際科学振興財団

目次

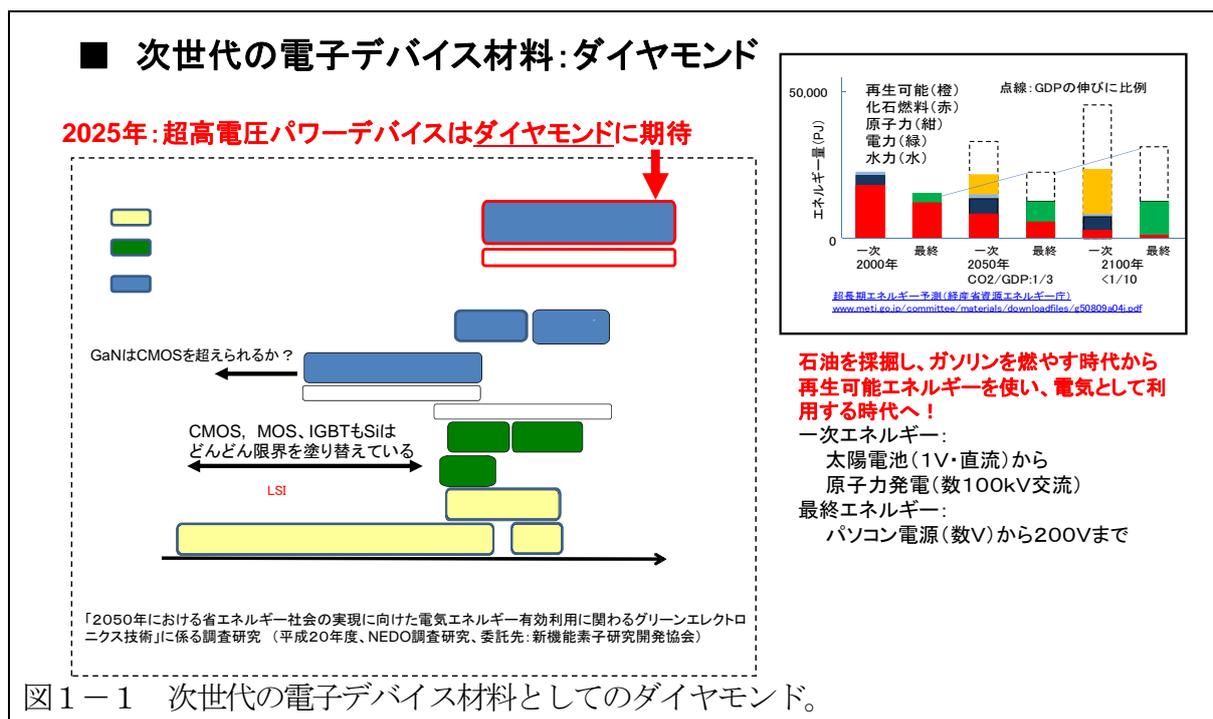
	ページ
第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	6
1-2-1 研究組織・管理体制	6
1-2-2 管理員及び研究員	7
1-2-3 他からの指導・協力者	8
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論（研究成果）	9
2-1 (サブテーマ 1-1) 研磨装置の開発	9
2-2 (サブテーマ 1-2) 自動切削研磨技術開発	12
2-3 (サブテーマ 1-3) 大面積基板研磨技術開発	16
(サブテーマ 2-1、2-2 の研磨基板及び研磨基板にCVD成長した ダイヤモンド薄膜の特性評価 については、サブテーマ 1-2、1-3 の中で述べる)	
第3章 全体総括	17
用語説明	19

第1章 研究開発の概要

ダイヤモンド基板の研磨においてナノメートル以下の表面粗さの研磨品質で、切削研磨工程の自動化による大量生産とコストダウン、大面積基板への切削研磨技術開発を行った。株式会社シンテックがダイヤモンドの切削研磨を行い、切削研磨面の評価とその後の半導体層成長の表面・結晶品質・接合特性・電気特性・光学特性・デバイス特性との関係を詳細に調べ、切削研磨技術にフィードバックすることで、技術開発を行った。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

ダイヤモンドはその並外れた物性から、次世代の革新的電子デバイスとして発光・パワー・耐環境・電子放出などの電子デバイスへの応用が強く期待され、研究開発が加速している。この理由は、材料プロセスとして高品質ダイヤモンド薄膜が作製可能となったことに加え、環境負荷の小さい電子デバイス実現が社会的に強く要請されていることによる。温暖化防止に向けた二酸化炭素排出削減のためには、石油を採掘してガソリンを燃やす時代から、再生可能エネルギーを使って電気として利用する時代への変化が必須である。そこでは、一次エネルギー（発電）、最終エネルギー（使用）での電圧範囲1V～数100kV、直流、交流の電力変換器が必要である。なかでも1kV以上の高耐圧の範囲のパワーデバイスには、ダイヤモンド半導体が強く期待されている（図1-1）。一方で、ダイヤモンドには従前の半導体にはない特有の性質があり、その性質を利用して従来考えられなかった性能・用途の電子デバイスへの応用が期待されている。例えば、高品質なダイヤモンドでは励起子が室温で存在することができるために、間接半導体でありながら発光素子としての応用が期待される。実際にダイオード構造で波長約235nmの深紫外線の発光が確認されており、細菌を死滅させるのに有効であることもわかっている（産総研プレスリリース）。発光ダイオードであるため、従来の殺菌灯に比べて極めて小型化できる。また、今年度にはダイヤモンドPINダイオードからの負性電子親和力による電子放出を利用した真空スイッチング素子で10kVの電圧をOn / Offすることに成功した（産総研プレスリリース）。これらを含め、デバイス開発と市場規模の例を図1-2及び図1-3に示す。



■ ダイヤモンド特有の性質を利用したデバイス開発



図1-2 ダイヤモンド特有の性質を利用したデバイス開発 (産総研プレスリリース).

本研究によりコスト削減が現実になれば大きな需要が見込め、将来大きな市場に発展が期待される川下産業:

- ・ 深紫外線LED(殺菌用・エンジン点火用) [自動車・医療など]
- ・ パワーデバイス(電力変換用・動力モーター用) [インフラ・電機機器]
- ・ 電子放出素子(電力変換用・電灯用・真空エレクトロニクス用) [インフラ・医療など]
- ・ ナノスケール高さ標準試料(超平坦表面に作成した原子ステップの高さを利用)
- ・ レンズなど光学素子 [その他]
- ・ 耐放射線素子(原子力・宇宙) [電機機器・その他]

図1-3 本研究開発～事業化の波及効果。

半導体グレードのダイヤモンド薄膜の作製では、ダイヤモンド基板上に添加元素をよく制御されたダイヤモンド半導体層をCVD合成によってホモエピタキシャル成長させる。ダイヤモンド半導体を利用したデバイスには高品質な薄膜合成及び表面・界面制御技術が必要であり、そこに於いて最も求められている基盤技術の一つが、半導体層成長前のダイヤモンド基板の研磨品質の向上である。

ダイヤモンドを切削研磨するためにはダイヤモンド砥粒を用いる。それはダイヤモンドが最も固い材料であるため、それ故その切削研磨加工は他の材料と比べて絶对的に難しい。また化学的に安定であることが切削以外での研磨を難しくしている。株式会社シンテックでは切削研磨の条件を最適化することにより、電子デバイス用途の半導体層をホモエピタキシャル成長させるために必要なレベルの超平坦性ダイヤモンド基板を、既に実現している(図1-4)。ただし、現状では職人が一枚ずつ手作業で行っているため、少量生産であり、将来のダイヤモンド半導体デバイスの産業化への大きな障壁の一つとなっている。

そこで本研究開発では、電子デバイス応用ダイヤモンド基板のナノメートル以下の表面粗さの超平坦性切削研磨において、大量生産とコストダウンに向けた切削研磨自動化・大面積基板の切削研磨技術開発を行ってきた(図1-5)。株式会社シンテックの現状の技術も世

界的に先行しているが、さらに機械による超平坦化切削研磨の自動化という圧倒的な先行技術の確立を目指した。より具体的には従来職人技に頼ってきた電子デバイス用ダイヤモンド基板の超平坦切削研磨（0.5 nm 以下の二乗平均粗さ）を自動化する。3 mm 角の小さな基板では自動化による単純な時間短縮効果を1/3程度と見積もっているが、将来は機械の多数導入による同時並行で研磨を進めることにより量産化体制がとれる。また自動化により、人間作業ではできなかった大面積基板の超平坦切削研磨を可能にする。

研究開発は大別して①研磨と②特性評価に分けられる。それぞれを独立に進めるのではなく、研磨をしたものを評価し、その結果を研磨にフィードバックさせることで技術開発を行った。本プロジェクトの3年度にわたる研究開発のサブテーマと線表を図1-6に示す。

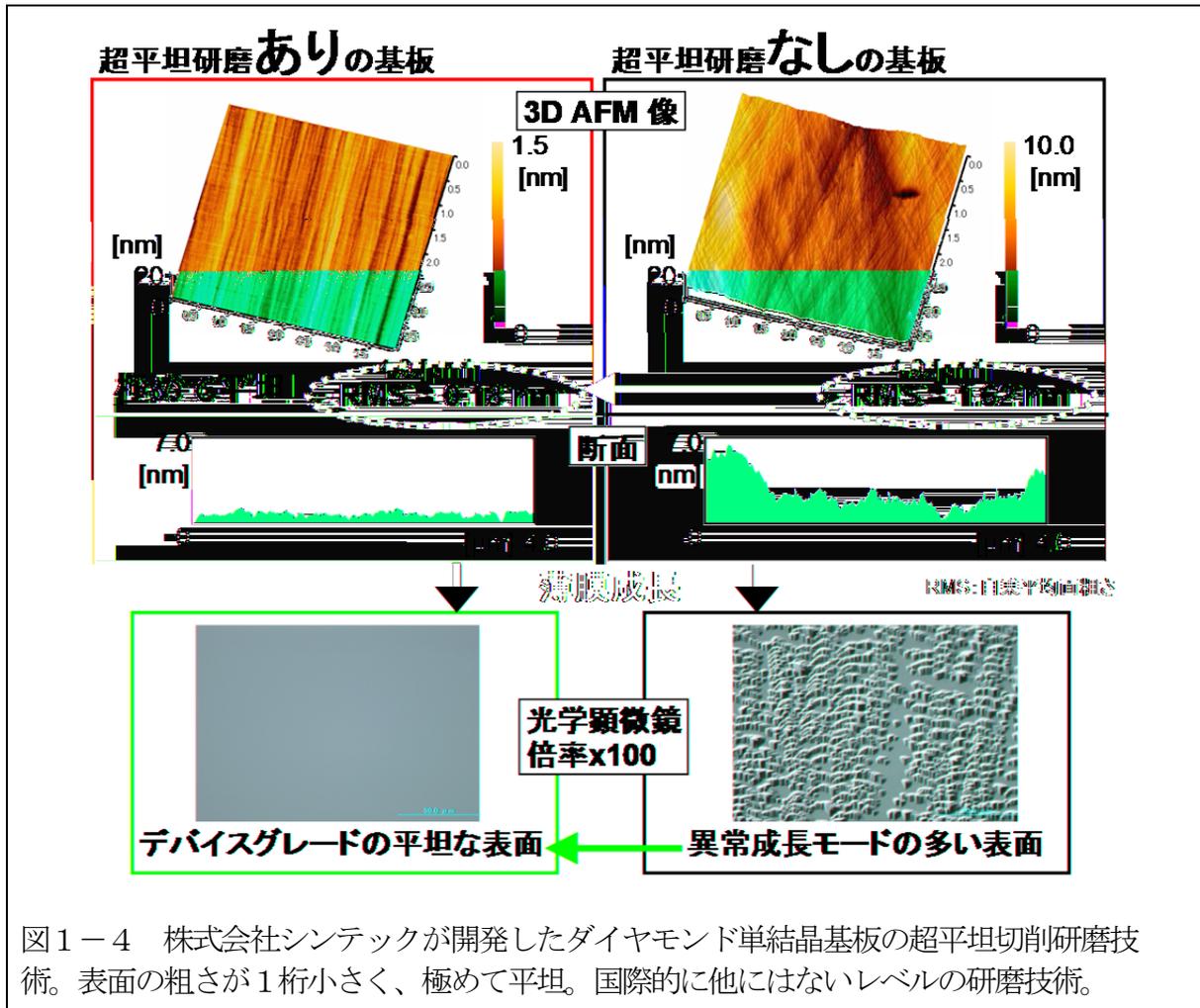


図1-4 株式会社シンテックが開発したダイヤモンド単結晶基板の超平坦切削研磨技術。表面の粗さが1桁小さく、極めて平坦。国際的に他にはないレベルの研磨技術。

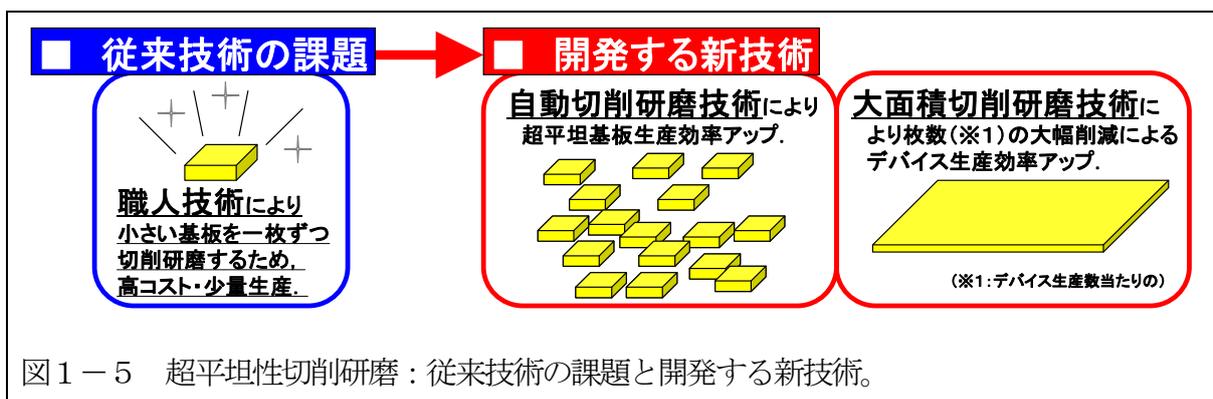


図1-5 超平坦性切削研磨：従来技術の課題と開発する新技術。

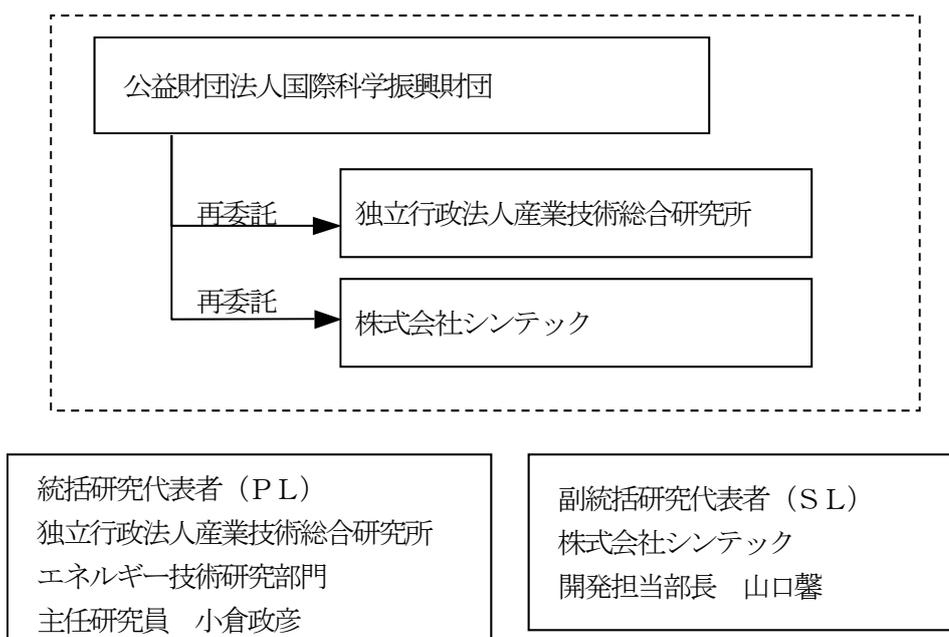
項目番号	研究サブテーマ	主な実施機関	初年度 (平成22年度)	第二年度 (平成23年度)	第三年度 (平成24年度)
①	1-1 研磨装置の開発 複合動作機能、観察機能、平行調整機能、耐高加圧の剛性保持	株式会社シンテック	→		
	1-2 自動研磨技術開発 1-2-1 職人による加工条件の調整と表面観察による最適な超平坦研磨の特定		装置製作 粗 → 中 → 仕上げ → 超平坦化 →		
	1-2-2 不均一素材や種類別に対応するためのデータ収集、超平坦研磨の再現			中 →	仕上げ →
	1-2-3 自動機用の加工条件の最適化と超平坦研磨の安定化				→
	1-3 大面積基板研磨技術開発 大面積加圧ユニット追加、上記による加工条件の大面積への適用と機械による加圧条件・と粒の特定		→	→	→
②	2-1 研磨基板の特性評価	独立行政法人 産業技術総合研究所	→	→	→
	2-2 研磨基板にCVD成長をしたダイヤモンド薄膜の特性評価		→	→	→

図1-6 本プロジェクトの3年度にわたる研究開発計画線表。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)

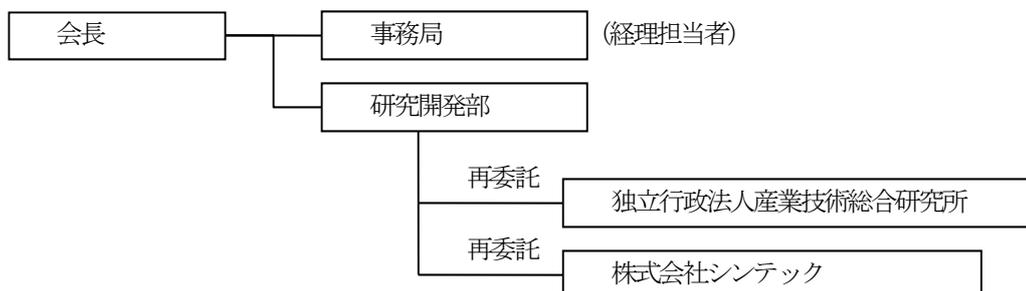


2) 管理体制

①事業管理機関

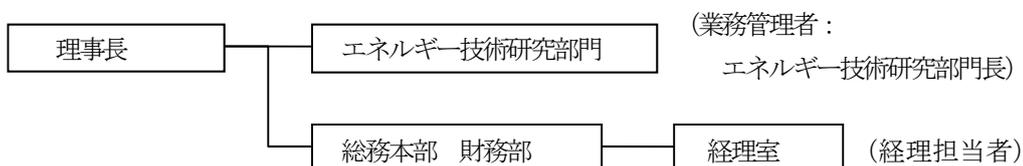
[公益財団法人国際科学振興財団]

(業務管理者：主席研究員)

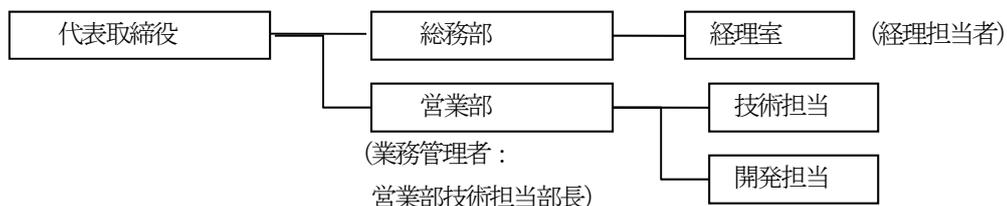


② 再委託先

[独立行政法人産業技術総合研究所]



[株式会社シンテック]



1-2-2 研究員氏名

(実施内容の番号は1-1 (図1-6) の研究内容の項目番号に従う)

【再委託先】

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小倉 政彦	エネルギー技術研究部門 主任研究員	②
山崎 聡	エネルギー技術研究部門 主幹研究員	②
牧野 俊晴	エネルギー技術研究部門 主任研究員	②
竹内 大輔	エネルギー技術研究部門 主任研究員	②
加藤 宙光	エネルギー技術研究部門 主任研究員	②

株式会社シンテック

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
山口 馨	営業部 開発担当部長	①②
山崎 裕司	営業部 研磨主任	①②
関 春樹	営業部 研磨作業員	①②

1-2-3 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
岩崎 達行	岩崎電気株式会社 技術研究所 光応用研究室 室長	アドバイザー
奥野 英一	株式会社デンソー 基礎研究所 グループリーダー	アドバイザー
谷本 智	日産自動車株式会社 総合研究所 社会・フロンティア研究所 主任研究員	アドバイザー
酒井 忠司	株式会社東芝 電子デバイスラボラトリー 研究主幹	アドバイザー

1-3 成果概要

本プロジェクトの計画に対する達成度を以下に示す。詳細な内容は第2章で述べる。

主な実施機関	サブテーマ	成果（達成度）
株式会社 シンテック	1-1 研磨装置の開発	・職人に代わる装置としてダイヤモンド基板の自動研磨装置（粗加工用、及び超平坦性研磨用）を設計・開発した。（100%）
	1-2 自動研磨技術開発	・ダイヤモンド基板の研磨において、自動研磨による超平坦性研磨の条件を見出し、再現よく安定した超平坦性研磨を実現した。目標の研磨粗さを更に1桁凌駕し、RMS 0.05 nm 以下を達成した。（100%）
	1-3 大面積基板研磨技術開発	・大型研磨装置を設計・開発し、自動研磨による超平坦性研磨を実現した。目標の研磨粗さを更に1桁程度凌駕し、RMS 0.05 nm 以下を達成した。（100%）
（独）産業技術 総合研究所	2-1, 2-2 特性評価・検討をして1-2, 1-3 にフィードバック	・研磨された基板およびその上にCVD成長された薄膜のAFM, SIMS, 電気特性などの評価をして、研磨に対してフィードバックした（100%）

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：公益財団法人国際科学振興財団

氏名：石濱 晴美

Tel：029-860-3333

Fax：029-860-3336

E-mail：ishihama@fais.or.jp

第2章 本論 (研究成果)

2-1 自動研磨装置の開発

従来ダイヤモンド研磨に求められてきたのは、宝飾用としては形状や美しさ、切削工具としては刃先の鋭さである。ここではナノメートルレベルでの品質は求められず、また面積も一部の特別な装飾品を除いて数ミリ程度の面積の研磨需要しかなかった。一方、近年では先述のように電子デバイスグレードの超平坦性研磨が（研究用途として）求められるようになってきている。株式会社シンテックは、それに対応して職人による研磨によってナノメートルレベルの研磨表面を実現している。

ダイヤモンドの優れた物性を電子デバイスで活かせる可能性が明らかになり、その研究の加速及び工業化のためにスループットの飛躍的な向上が要請されている。また半導体プロセスに適したサイズの、より大面積な(8 mm 角以上の)基板が市場に出るようになり、大面積の超平坦化研磨が要請されている。

株式会社シンテックは、すでに他社に先駆けてナノメートルレベルの研磨表面を実現し、どのような機構や性能が必要なのかを理解している。それを活かして本事業においては、まず始めに研究用途に応じた複数の自動研磨機を新たに設計・開発した。ダイヤモンドのナノメートルレベルでの自動研磨機は世界的に類を見ないものである。ここでは一部を紹介する。

基本的な構想として、ダイヤモンド基板自動研磨装置は研磨における動作や加圧など職人の体の代わりとなるハードウェアとして開発し、さらに人間以上の加圧とその条件での動作を安定的に長時間維持できる性能を追求した。人間としての感覚の置き換えとしての各種のセンサーを組み込んでいる。人間の感覚な作業を取り込む困難さと機械を用いることのメリットを予想し、人間では出来ない動作機構も組み込んでいる。

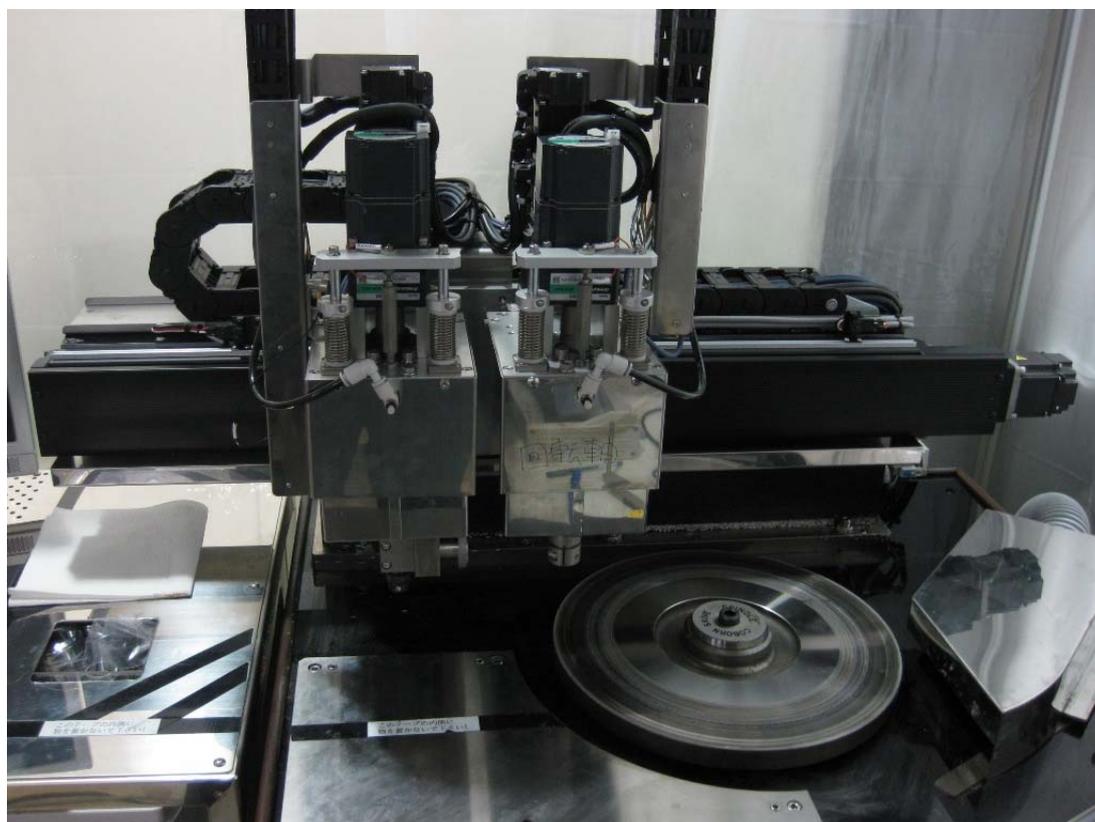


図2-1 ダイヤモンド基板自動研磨装置 DP-S-2201

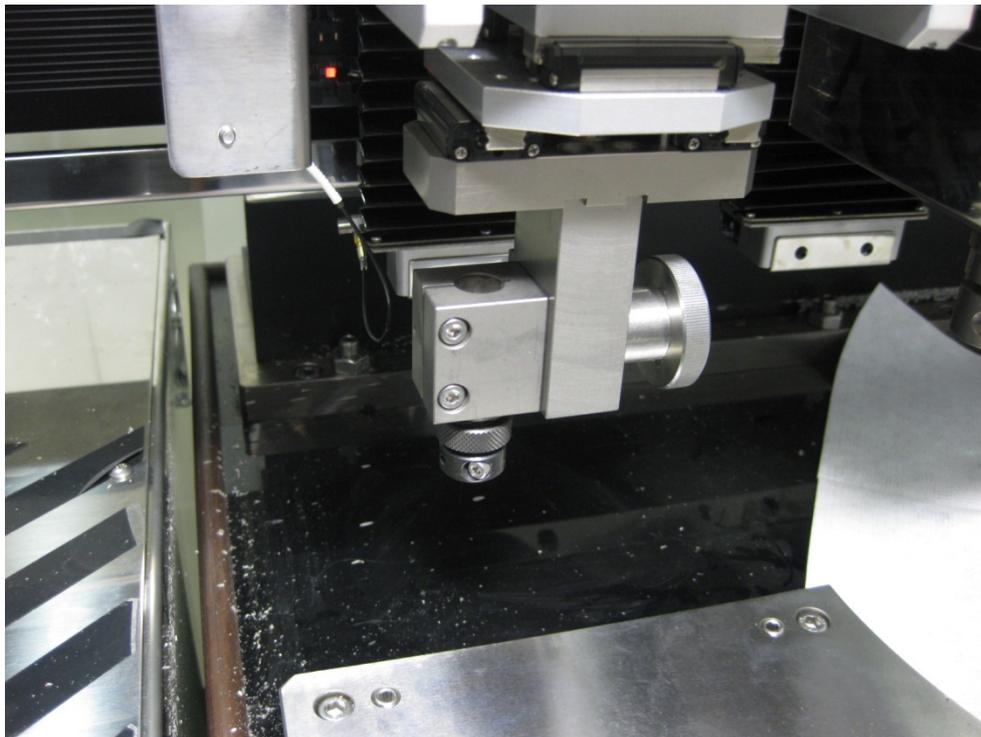


図2-2 ダイヤモンド基板自動研磨装置 DP-S-2201 先端部

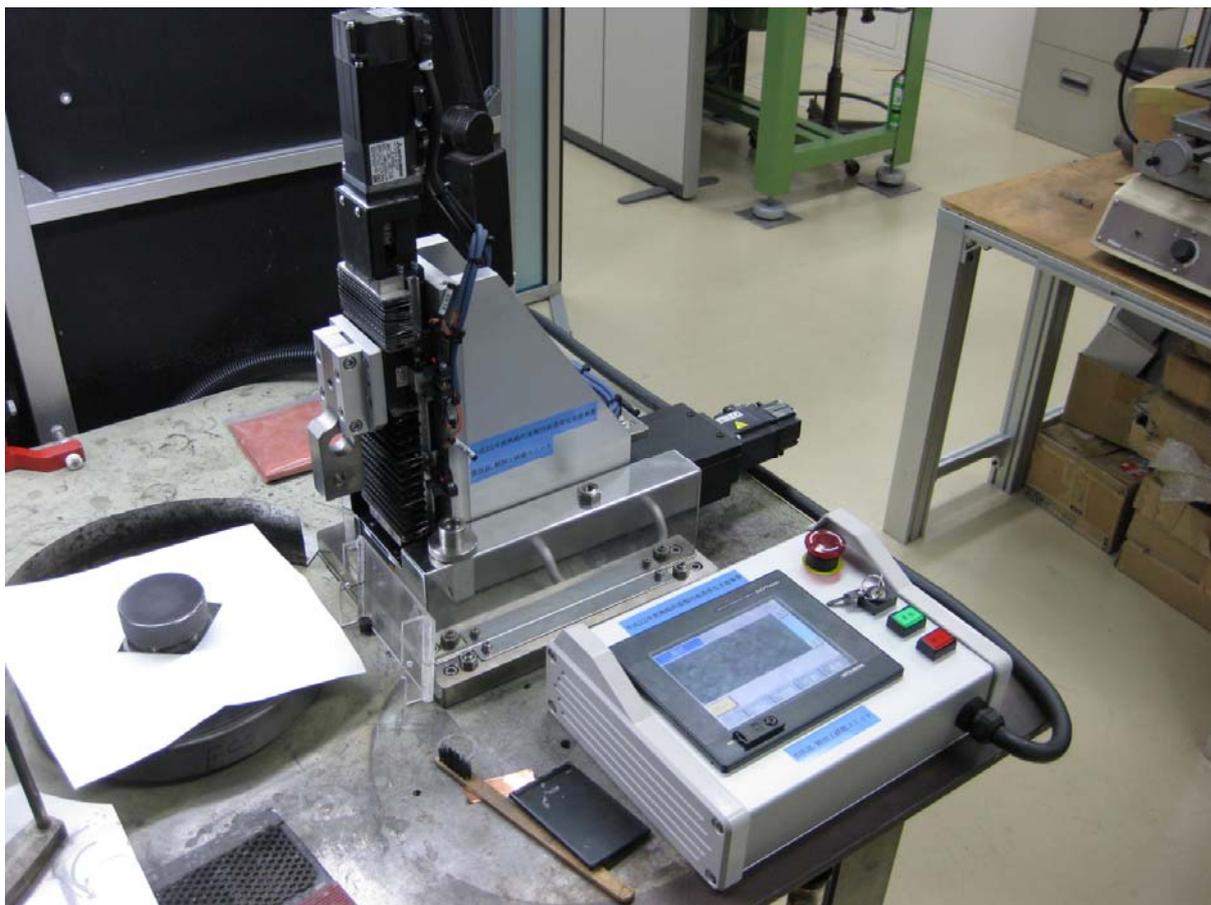


図2-3 ダイヤモンド基板自動粗加工ユニット DP-S2202

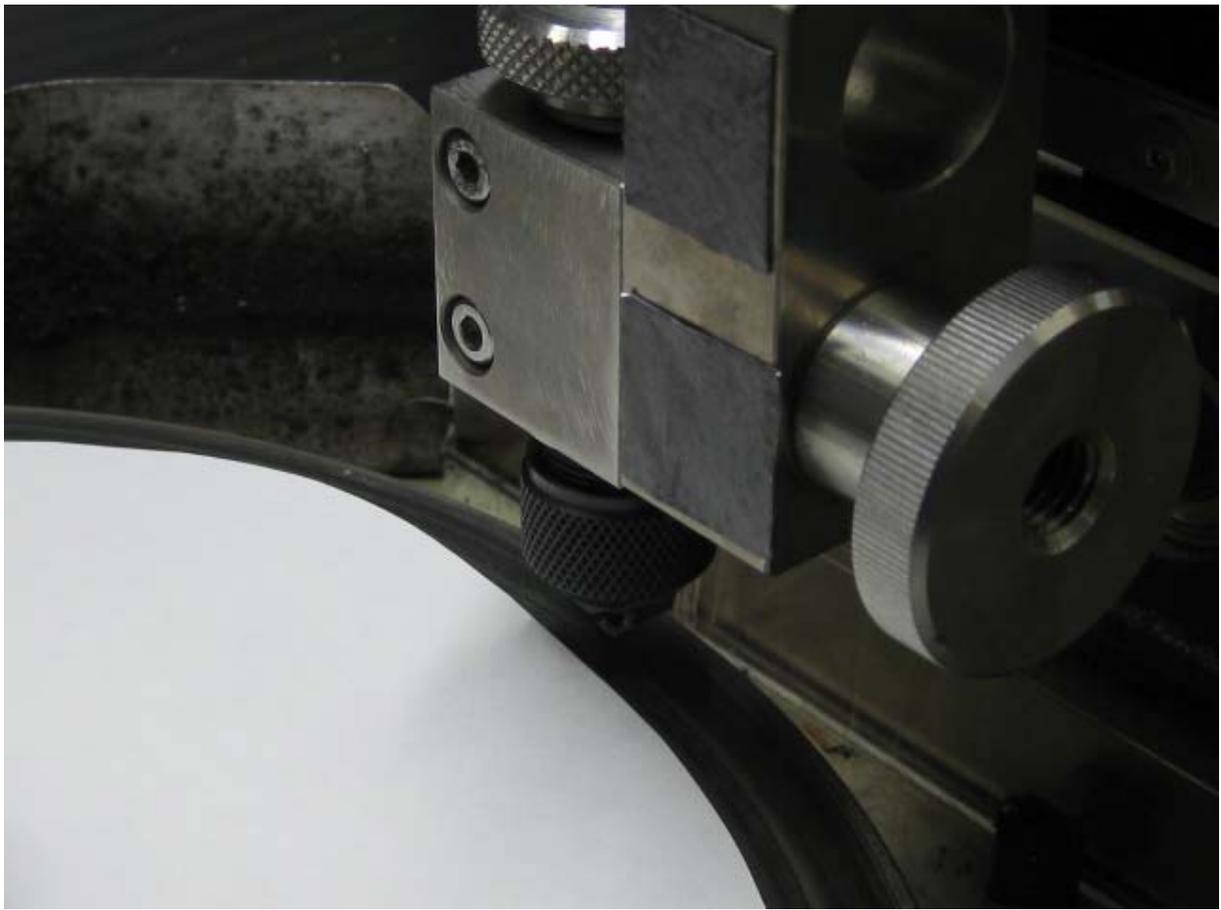


図2-4 ダイヤモンド基板自動粗加工ユニット DP-S2202 先端部

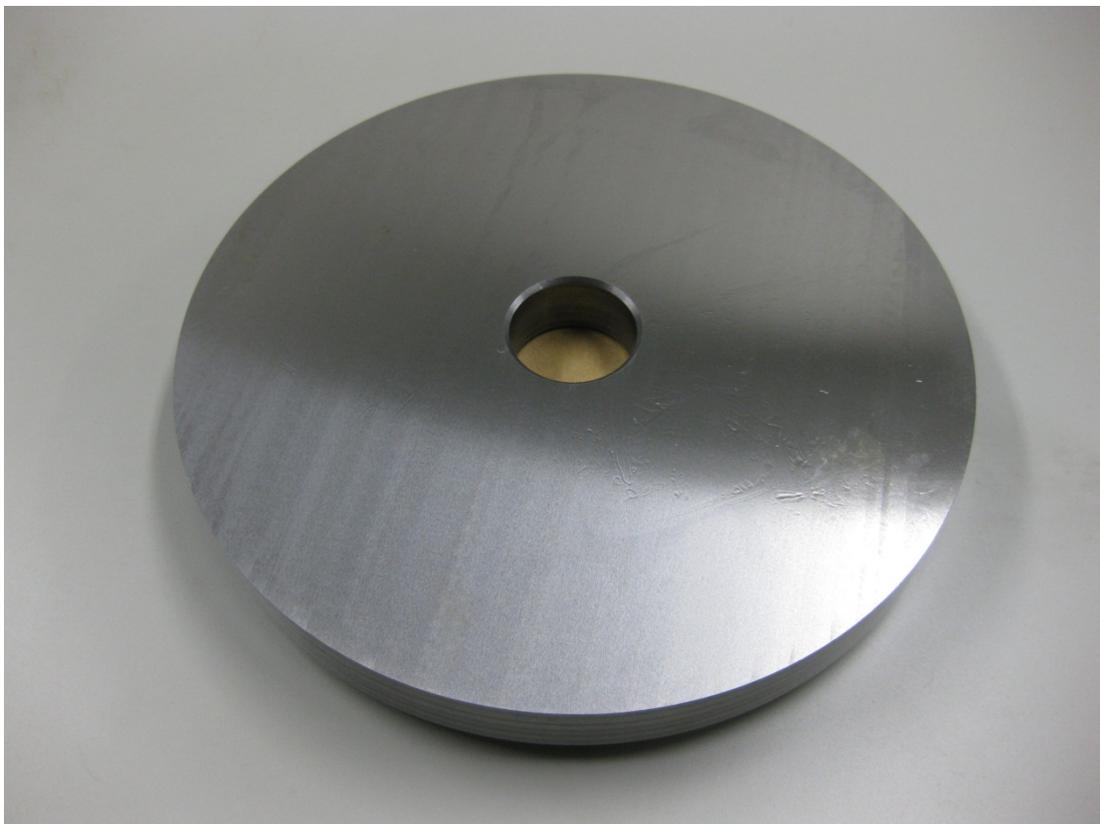
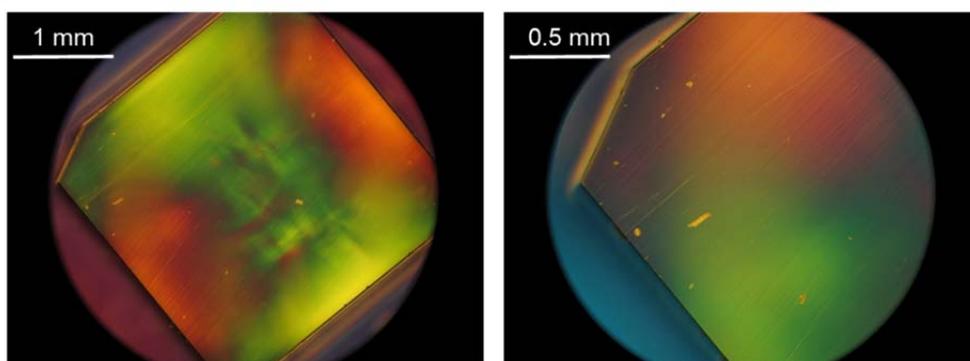


図2-5 指定材質による特殊研磨盤

2-2 自動研磨技術開発

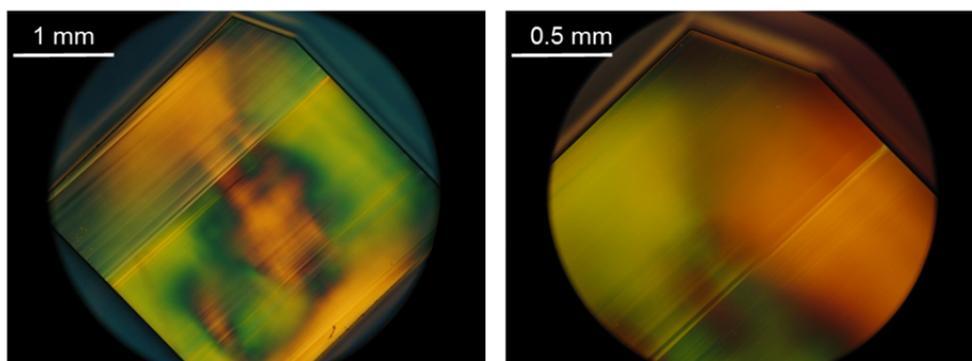
超平坦化の定義は厳密に規格がある訳では無い。しかし国内のみならず世界各国の半導体研究者の方々から要求される表面粗さは、目安として最低限 RMS 1 nm 未満であることが多い。株式会社シンテックでは、単結晶ダイヤモンドにおいて、職人技術によって平均 RMS 0.2 nm という世界トップの仕様を実現して研究機関に納めている実績がある。本プロジェクトでは目標値を RMS 0.5 nm 以下に設定した。なお研磨の工程を次のように区分けし設定する事により、進捗状況を可視化した。各段階の状態の判断は株式会社シンテックの職人が行なった。

職人技術による研磨サンプル画像&定義(実体光学顕微鏡による観察)



■ブランク素材

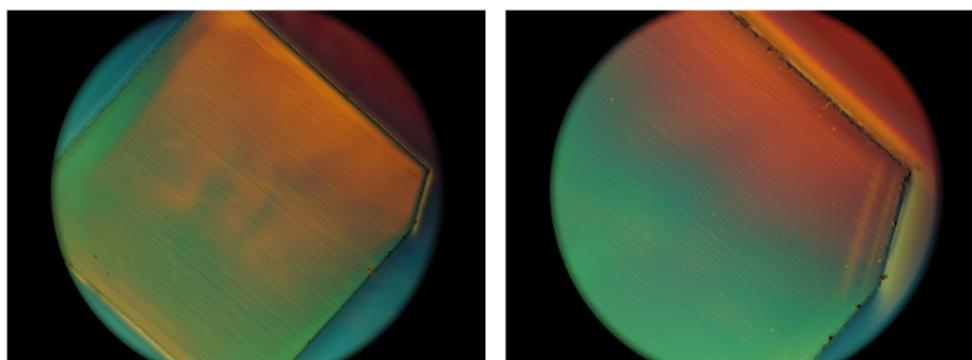
ダイヤモンド素材メーカーから出荷された状態。素材メーカーで表面の研磨はされている。一見肉眼や一般の光学顕微鏡では傷は見えにくいですが、微分干渉型光学顕微鏡でははっきり観察出来る。傷が一方向ではなく、数方向にあり厳密には一面とはいえず多面体に近い状態である。この上に電子デバイス用のダイヤモンドを成長させると、この研磨傷が大きく影響する。



■粗研磨

一見研磨が深いように見えるが、傷が一方向に揃っており平面度は、ブランク基板より高い。ここで一面になってないと後工程では傷が完全に除去出来なくなる。

○切削能力:大



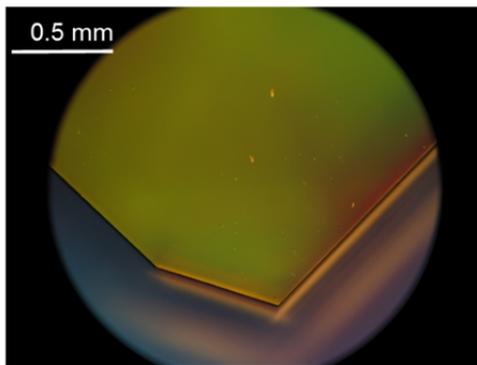
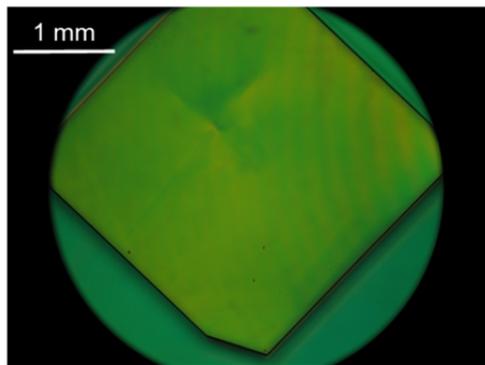
■中研磨

均一に傷が浅くなって来ている状態。

肉眼や光学顕微鏡では鏡面に見える。

○切削能力:中

大きな傷は入り難いが力加減などで入る可能性がある。

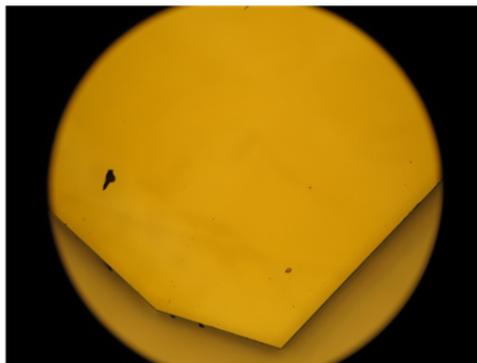
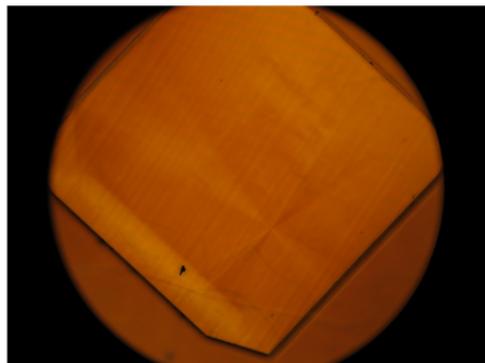


■仕上げ研磨

実体顕微鏡においても見逃すレベルの鏡面状態。

しかし、これは下記のにある。
・全体的に薄ら傷残っている。
もしくは
・部分的に傷が残っている箇所がある。

○切削能力: 小
1 μ m以下の切削能力



■超平坦化

実体顕微鏡においても全面に傷が見受けられない。

RMS0.5nm以下を実現している。

仕上げ研磨からこの状態にいかない場合は、研磨方向を変える必要がある。

○切削能力: 微小
細かな傷を除去するつもりが取りきれずに傷を増やす事が多い。技術的に非常に困難。

ハードウェアと研磨を定義を定め“加工条件”の調整・条件出しが次の課題である。まずは、次項で述べる大面積の基板の研究を始める前に、従来最も使用されているサイズの3 mm角の基板（以下小面積基板）を使用し加工条件を見出す事にした。

職人の行う作業の手順や工程を分析しノウハウを組み込み切削研磨の研究を進めた。中仕上げ・仕上げ切削研磨までの研磨盤はその方法で加工条件を見出すことができたが、最終の超平坦化の切削研磨の条件を見いだすまでには至らなかった。超平坦化を出す職人のアナログ的な感覚を加工条件にフィードバックすることが非常に困難で、仮に自動機でできたとしても再現性など問題が残るとの結論に達した。そのため、条件探索の方針を「職人技術による切削研磨の条件を再現すること」から、「自動機専用の切削研磨の条件を見出すこと」に修正した。

砥粒（パウダー）サイズを含め様々な加工条件を試行し、その結果、自動切削研磨による小面積単結晶ダイヤモンド基板の超平坦化が実現した。光学顕微鏡では職人による手動研磨と自動切削研磨では区別がつかない。前者の粗さ数値（RMS 0.18~0.20 nm）よりさらに小さい値、つまりRMS 0.061 nmという数値を記録した（次ページのAFM観察の図）。これはダイヤモンド(001)面の原子ステップ（シングル）0.089nmと比較し得る小さい値である。機構動作が人に比べ安定していることによるものと推測される。

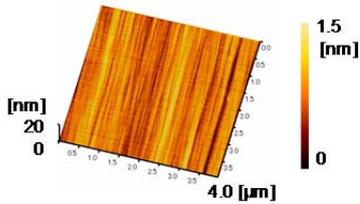
次に、加工条件の最適化と超平坦性研磨の安定化を行った。面内5カ所において、いずれもRMS 0.05 nm程度のバラツキの無い研磨状態が得られている（図2-7）。また、これらも含めて22枚の数量検査において、いずれも基板でもRMS 0.05 nm程度以下であり、結果として非常に高いレベルでの安定した条件を見いだした（図2-8）。

これらの基板の上にホモエピタキシャル成長されたホウ素ドーパダイヤモンド薄膜の電気特性をホール効果測定で評価したところ、従来と遜色ない高品質なp形半導体特性が得られている。

原子間力顕微鏡(AFM)による表面の観察

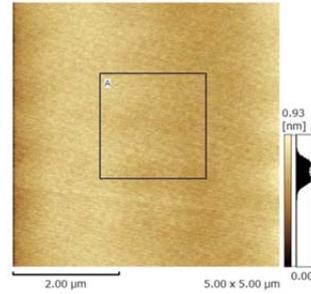
単結晶ダイヤモンド基板 1b(100) 3×3×0.5 mm

①手動研磨

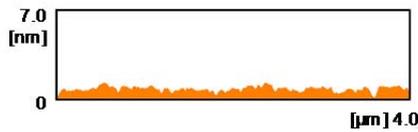


AFM像
(二次元マッピング)

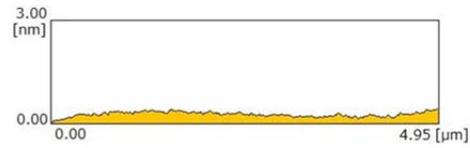
②自動研磨



AFM像
(断面)



RMS = 0.18 nm

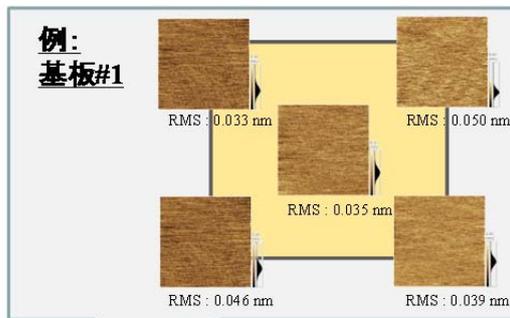


RMS = 0.061 nm

自乗平均面粗さ

図2-6 手動研磨と自動研磨での超平坦研磨表面の粗さの比較

原子間力顕微鏡(AFM)による
自動研磨基板の表面粗さ観測
(RMS: 平均二乗粗さ)



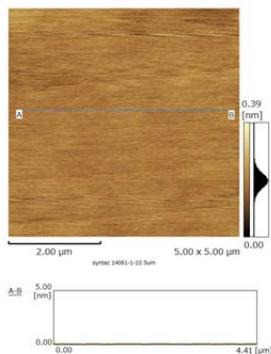
Rms[nm]	#1	#2	#3	#4	#5
左上	0.033	0.045	0.033	0.053	0.051
右上	0.050	0.044	0.034	0.053	0.045
中央	0.035	0.047	0.050	0.043	0.048
左下	0.046	0.040	0.034	0.056	0.041
右下	0.039	0.051	0.037	0.050	0.031
平均	0.041	0.045	0.038	0.051	0.043

自動研磨では、
手動研磨(RMS = 0.18 nm)より、さらに平坦な研磨表面が、再現されている。

図2-7 原子間力顕微鏡 (AFM) による自動研磨基板の表面粗さ分布

**原子間力顕微鏡(AFM)による
自動研磨基板の表面粗さ観測**
(RMS: 平均二乗粗さ)

22枚全ての試料で測定限界
→ (ノイズレベル) 以下



**自動研磨において、安定した
超平坦研磨がなされている。**

各サンプルの
表面粗さ

	RMS [nm]
No.1	0.035
No.2	0.047
No.3	0.050
⋮	0.043
	0.048
	0.030
	0.039
	0.044
	0.032
	0.033
	0.032
	0.021
⋮	
No.22	0.036



図2-8 原子間力顕微鏡 (AFM) による22枚の自動研磨基板の表面粗さ (数量検査)

2-3 大面積基板研磨技術開発

これまでの研究において、小面積の単結晶ダイヤモンド基板（3 mm 角）を超平坦化する自動研磨装置での切削研磨の条件を見出し、超平坦化加工の実現と繰り返し加工による精度も確認出来た。その条件をベースとして大面積の単結晶ダイヤモンド基板（10 mm 角、図2-9）の切削研磨の技術開発を行った。まずは小型基板ではわからなかった大型基板特有の問題点を抽出した。次に大型基板用の自動研磨装置の製作を行い、超平坦性研磨の条件を探索した。ここでの条件は、加工動作、適切な加圧、研磨定盤の状態や回転数である。大型基板では剛性が重要であることがわかり、装置開発に際し耐高加圧の剛性を保持させた。

その結果、大面積単結晶ダイヤモンド基板（10mm 角）の面全体の自動機の切削研磨によるほぼ均一といえる超平坦化を実現した。さらに表面粗さは、小型基板での職人技術による RMS 0.18 nm をおおきく下回り、目標値を1桁凌駕する RMS 0.05 nm 以下を実現した（図2-10）。

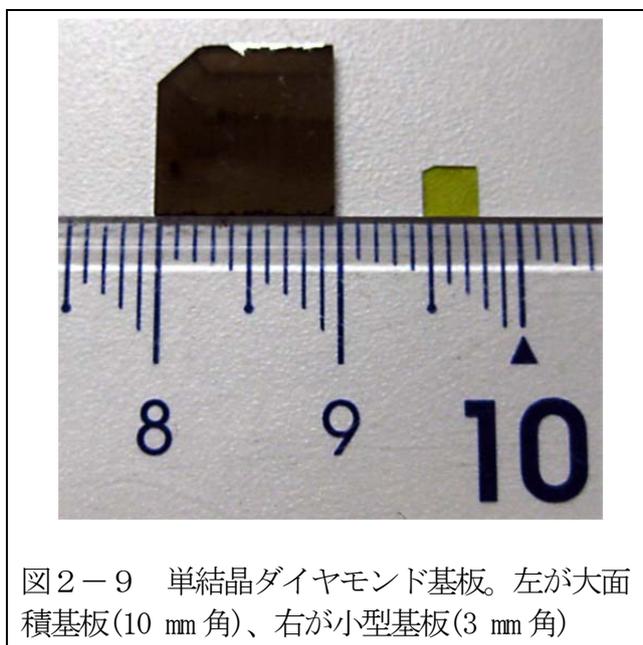


図2-9 単結晶ダイヤモンド基板。左が大面積基板(10 mm 角)、右が小型基板(3 mm 角)

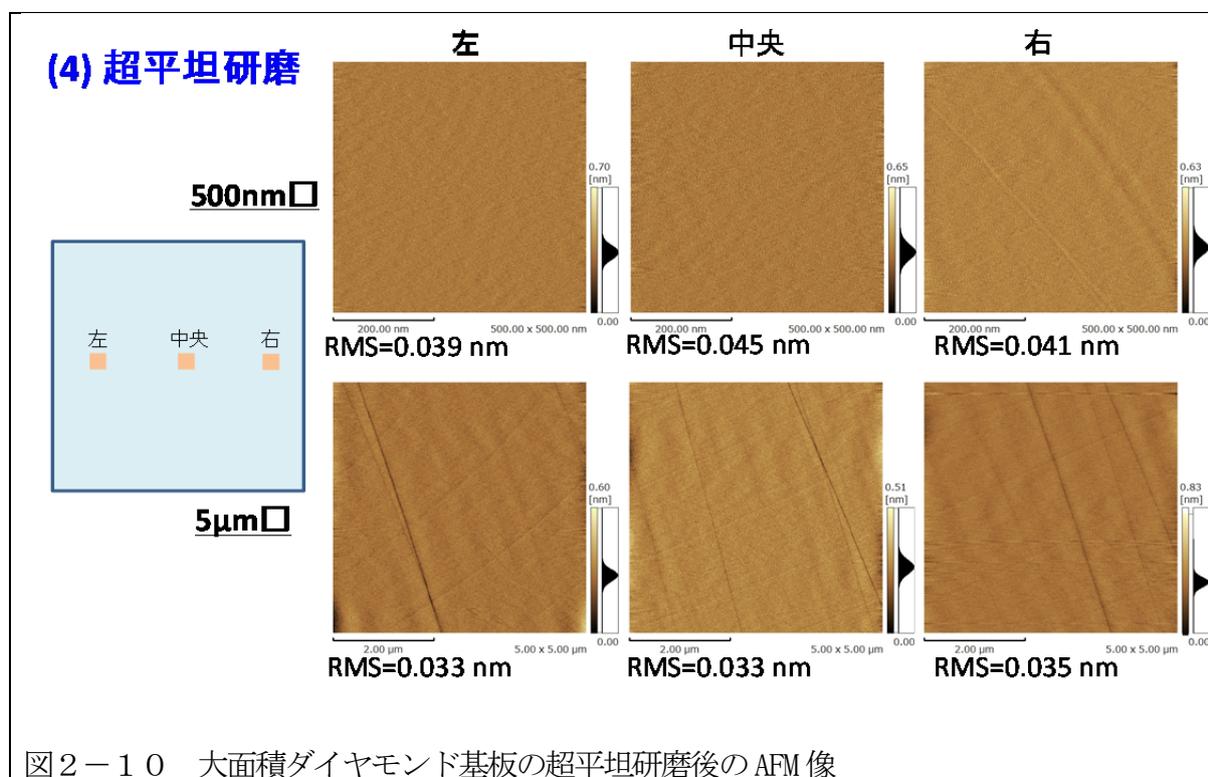


図2-10 大面積ダイヤモンド基板の超平坦研磨後のAFM像

第3章 全体総括

本プロジェクトでは、ダイヤモンド基板の研磨においてナノメートル以下の表面粗さの研磨品質で、切削研磨工程の自動化による大量生産とコストダウン、大面積基板への切削研磨技術開発を行った。具体的な目標を次のように定めた。

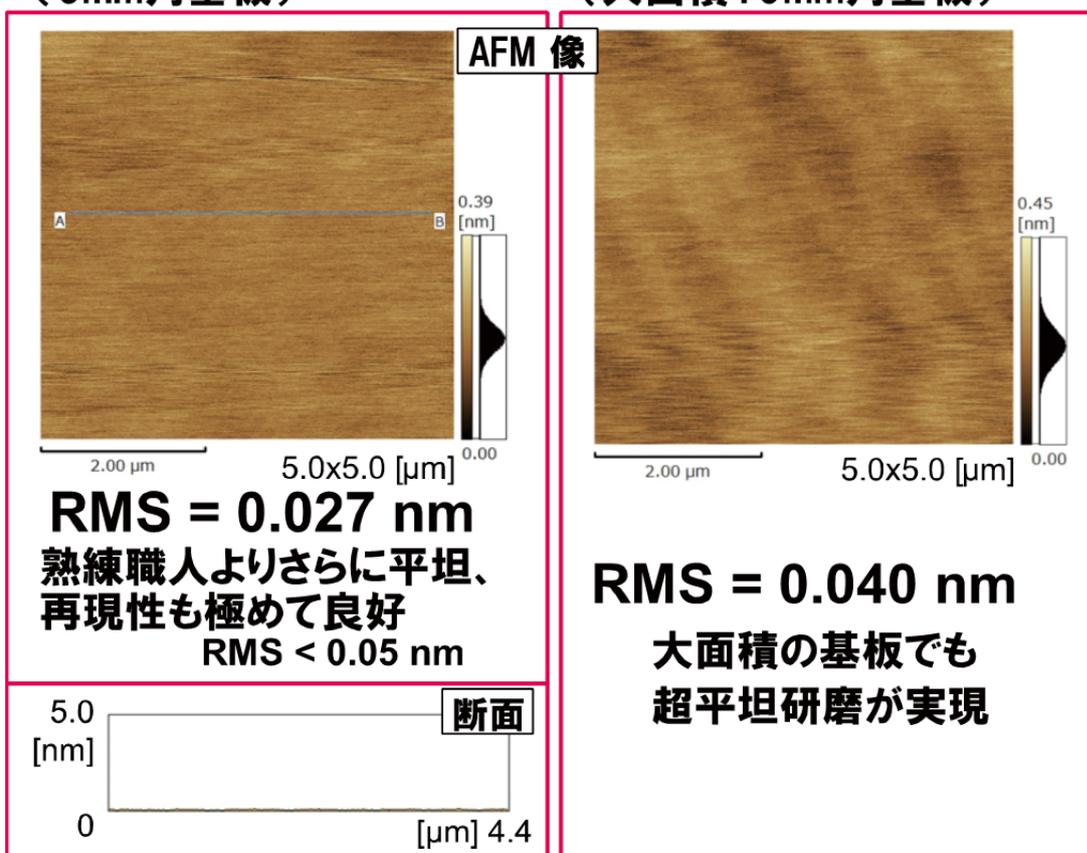
- ・職人による研磨における経験と勘に頼る事なく自動研磨装置を使用して、自動で小面積の単結晶ダイヤモンド基板の超平坦化を安定的に行うこと
- ・大面積の単結晶ダイヤモンド基板の超平坦化を実現すること
- ・ここに超平坦性研磨とは、光学顕微鏡で傷が見えず、かつ原子間力顕微鏡 (AFM) での自乗平均粗さ (RMS) が 0.5 nm 以下であること

この目標のために、まず、スライド、加減圧を行う複合動作機能や、平行調整をする機能を有する自動研磨装置を設計・開発した。特に大面積基板については、実験を進める中で剛性が重要であることがわかり、耐高加圧の剛性を保持させた自動研磨装置を開発した。次に自動研磨での条件を探索して超平坦性研磨を実現、特に小型基板については安定的に研磨が可能になった。この中で、当初は人間 (職人) の動作を再現することを計画したが、困難であったために、全く新しい条件領域をチャレンジする方針に早期に転換し、結果として職人による手動研磨よりもはるかに良好な、目標値を一桁凌駕する RMS 0.05 nm 未満という高いレベルでの達成となった。

自動研磨装置による超平坦研磨

(3mm角基板)

(大面積10mm角基板)



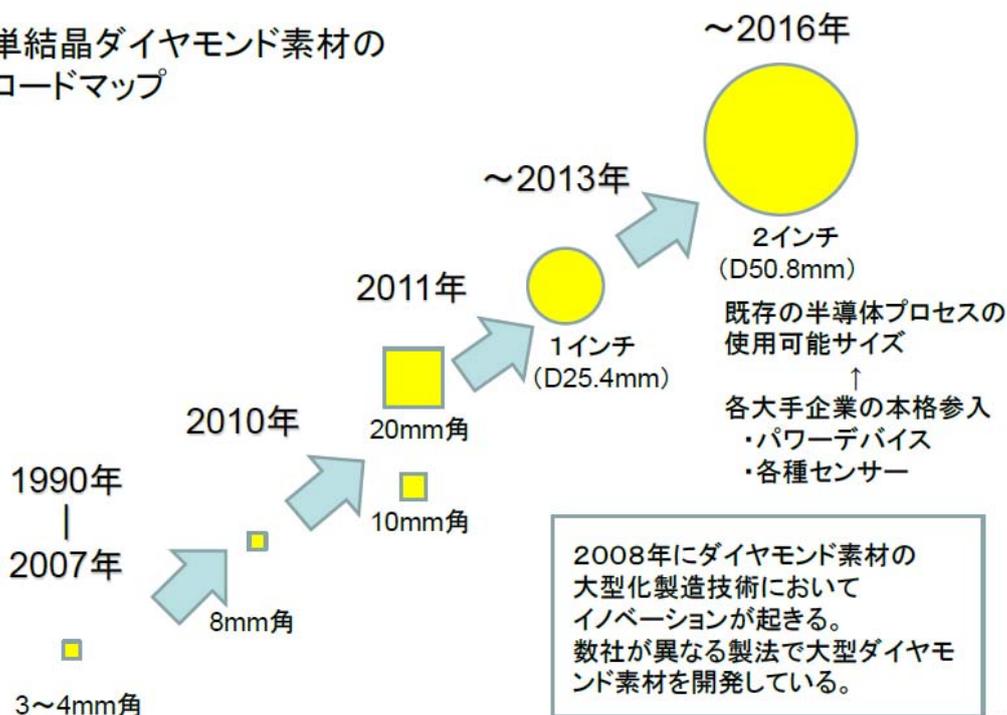
今後の展開は、研究開発の面では、

- ・大面積基板研磨の最初のプロセスである粗研磨の時間の短縮（本研究で新たに見つかった課題）
- ・より大きな面積（2 cm 角、1 インチ径、～）の超平坦性研磨の実現
- ・その他ダイヤモンド基板開発分野での企業、国研等との連携

などを予定している。また本開発研究の事業化としては、連携企業によるサンプルテスト（終了後1年目）を経て、段階的に海外展開し（同4年目）、研磨産業化を図る。極めて限定されたスキルを持つ職人以外でも従事可能であることから、大量生産が可能になり雇用創出効果が期待される。また、ダイヤモンド半導体の応用デバイスの提案とそのプロトタイプ作製を通して、研究開発サイクルを充実、加速したい。

末筆ながら、本事業での助成に誠に感謝をするとともに、これからも日本の産業の発展に貢献をする所存である。

単結晶ダイヤモンド素材のロードマップ



用語説明

切削研磨：

鋳物研磨盤（スカイフ盤）とダイヤモンド砥粒を利用した共擦り研磨法。従来より、ダイヤモンドでは宝石や工具用研磨などに使用される。

RMS（二乗平均粗さ）：

物体表面の粗さの指標の一つで、凹凸の平均線からの偏差を二乗したものを経路全体で積分し、平方根を取ったもの。

ダイヤモンド：

次世代の半導体として、深紫外線発光素子、パワーデバイス、電子放出素子などへの応用が期待されている。低損失（省エネ）、高温動作、高熱伝導率、高放射線耐性が期待できる。

CVD法（化学気相成長，化学気相蒸着または化学蒸着：Chemical Vapor Deposition）：

薄膜を形成する蒸着法のひとつで、石英などで構成される反応管・反応炉内で加熱された基板物質上に、目的とする薄膜の成分を含む原料ガスを供給し、基板表面あるいは気相での化学反応により膜を堆積する方法。

プラズマCVD法（plasma CVD）：

プラズマを援用する化学気相成長(CVD)法。化学反応を活性化させるため、高周波やマイクロ波などを印加することで原料ガスをプラズマ化させる。半導体素子の製造などに広く用いられ、またダイヤモンド薄膜合成では一般的な手法。

エピタキシャル：

基板となる結晶と特定の結晶学的方位関係を保ちつつ結晶膜を堆積成長させることをエピタキシャル成長と呼び、エピタキシャル成長により形成された膜をエピタキシャル膜と呼ぶ。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。