



ダイヤモンド半導体の社会実装と産業波及効果

実践的エンジニアリング、サプライチェーンの強靭化、および異業種間アライアンスによる次世代パワーデバイスの戦略的展望

開発の契機と国家プロジェクトの始動

課題：既存技術の限界

- 2011年 福島第一原子力発電所事故が契機。
- 高放射線・高温の原子炉内（極限環境）において、既存のシリコン（Si）ベースの電子機器が機能不全に陥る致命的な制約。



極限環境の
克服

解決：工学的アプローチへの転換

- 既存機器では耐えられない極限環境を克服するため、産官学連携の国家プロジェクトが発足。
- 参画機関：産総研（AIST）、北海道大学、JAEA、KEK、NIMS、大熊ダイヤモンドデバイス（ODD）。
- 学術的探求から「過酷なエンジニアリング制約の解決」へと開発方針を転換。

主要半導体材料の物理特性比較

	バンドギャップ (eV)	絶縁破壊電界 (MV/cm)	熱伝導率 (W/cm·K)	電子移動度 (cm ² /V·s)
シリコン (Si)	1.1	0.3	1.5	1400
炭化ケイ素 (4H-SiC)	3.26	3.0	4.9	900
窒化ガリウム (GaN)	3.39	3.3	1.3	2000
ダイヤモンド	5.46 - 5.47	10 - 20	22 - 23	4000



圧倒的な放熱性能:

熱伝導率はシリコンの約13~15倍、銅の約5倍に達し、抜本的なパッシブ冷却が可能。



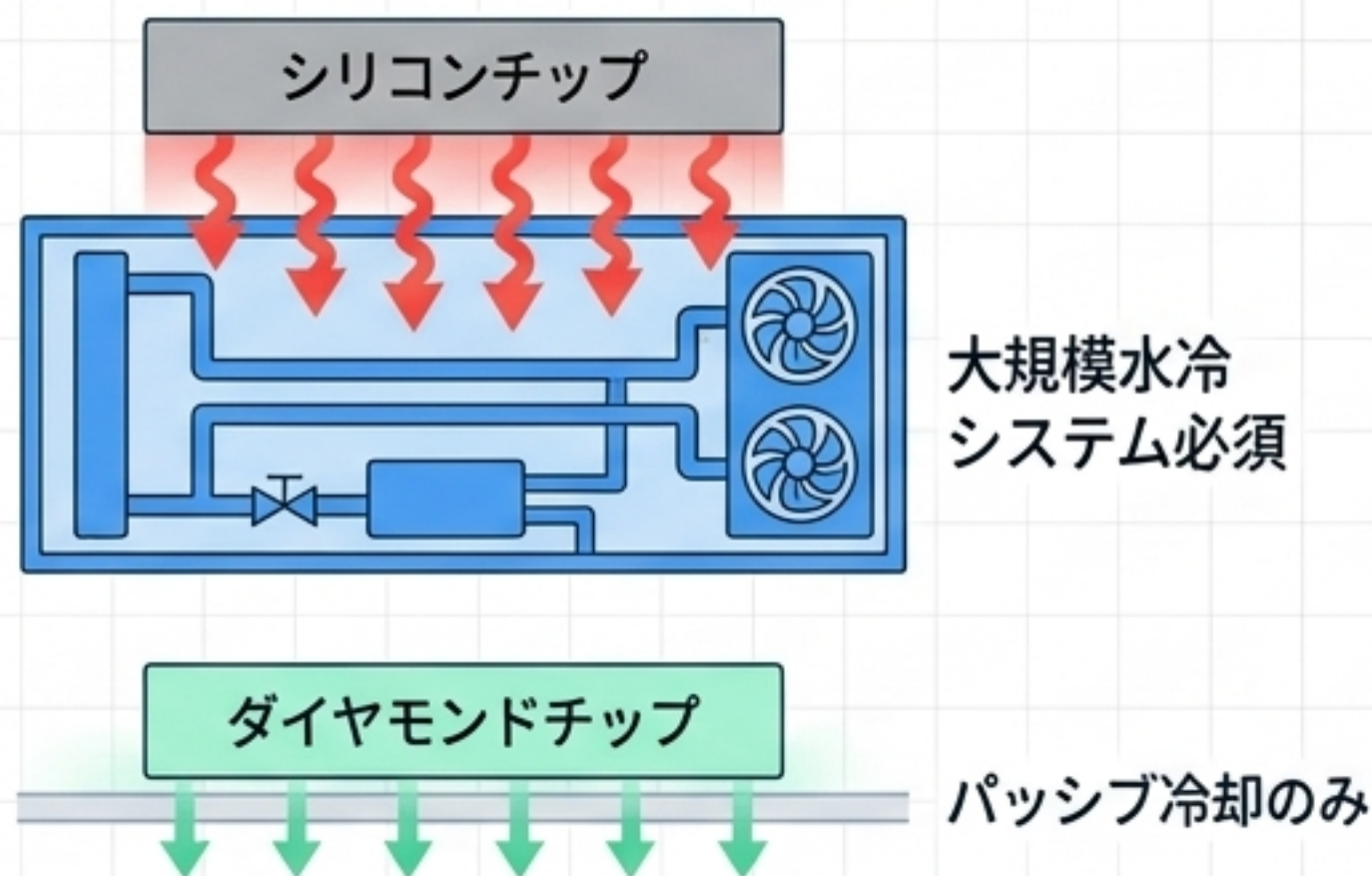
極薄層での高耐圧:

絶縁破壊電界の高さにより、ドリフト層を極薄化し電力損失（オン抵抗）を大幅に低減。

動作メカニズムと実装に向けた技術的障壁

メリットのメカニズム

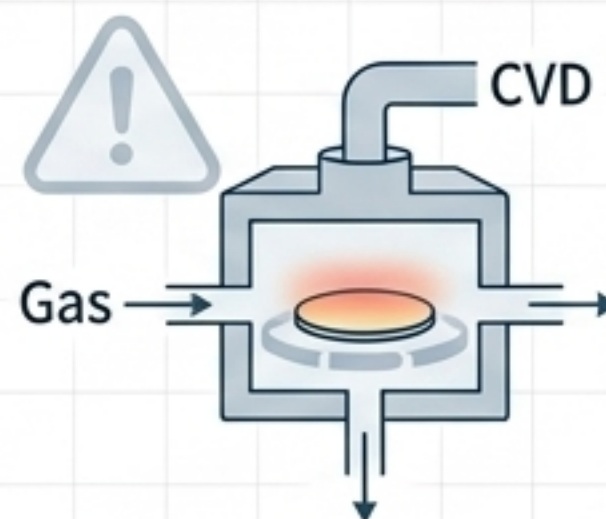
Heat Flow



- **超広帯域ギャップ (5.46 eV) :**
熱励起による誤動作を防止し高温環境下でも安定動作。
- **優れた耐放射線性**
強固な共有結合により変位損傷への耐性を発揮。

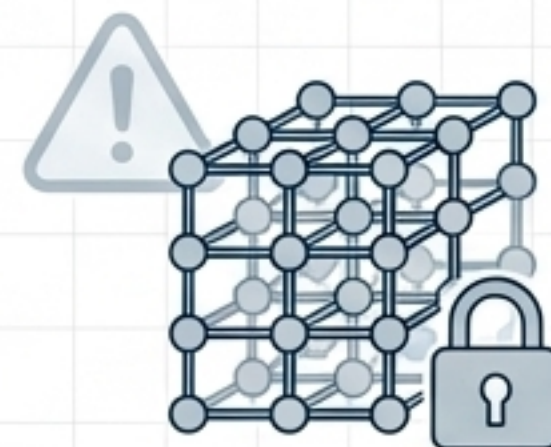
克服すべき技術的課題

Barrier



製造コストと大口径化

天然素材は不純物が多く使用不可。
CVD法等による人工合成が必須だが、
大口径単結晶ウェハの安定育成が
高難易度。



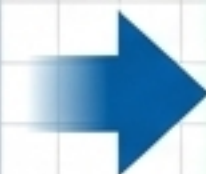
ドーピングの物理的境界

結晶格子の緻密さにより、安定的な
n型ドーピングの実現が物理的に困難。
現在はp型のSBDやFETが先行。

量産化に向けたアプローチの転換とマイルストーン

Before

学術的アプローチ:
ピーク性能と結晶
純度を追求。



After

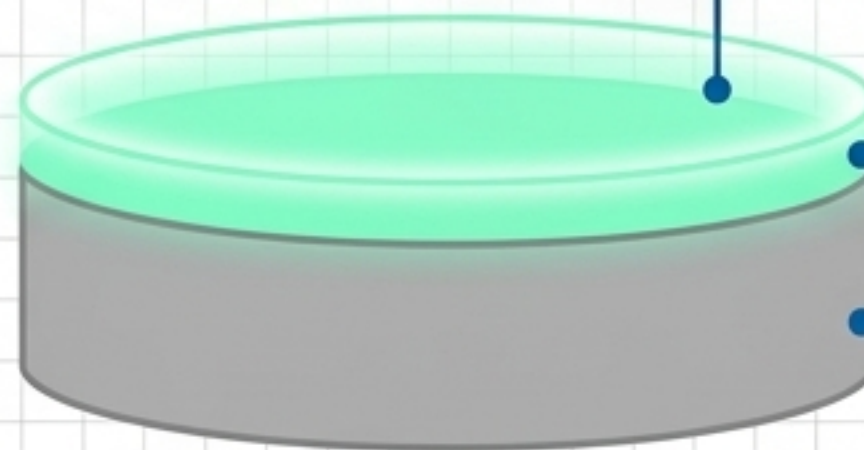
工学的アプローチ:
極限環境での安定
動作を最優先。

初期歩留まり

約 **90%** 達成

(業界水準5~10%を凌駕)

複合ウェハ
(Compound Wafer)



ブレイクスルー: シリコンとダイヤモンドの高温接合により、既存の微細加工装置 (ステッパー) の活用が可能に。

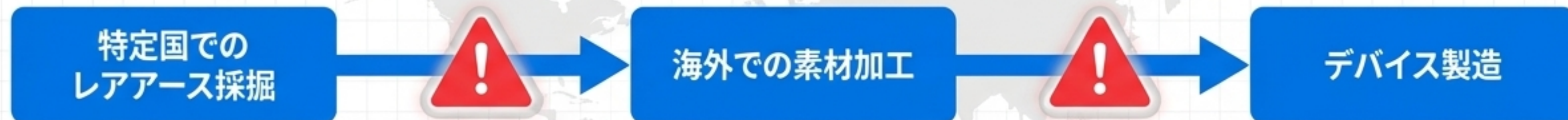
ダイヤモンド層

シリコン基板
(大口径化を担保)

2026年度中

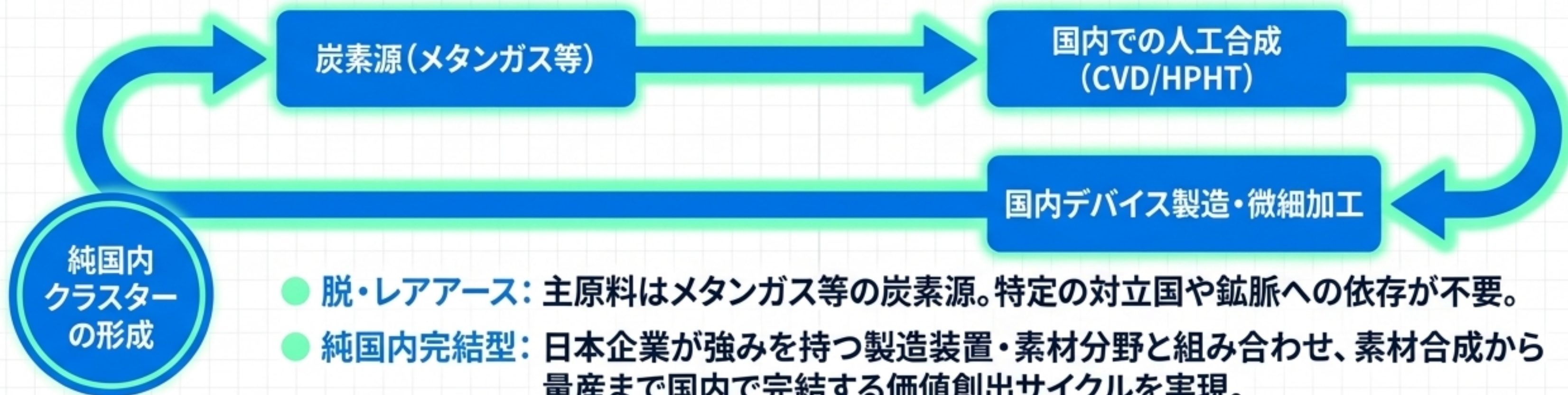
福島県大熊町にて世界初のダイヤモンド半導体量産工場 (垂直統合型) が本格稼働予定。

Route A: 従来のサプライチェーン(地政学的リスク)



レアースや重要鉱物への依存が高く、輸出規制や分断リスクに脆弱。

Route B: ダイヤモンドによる強靱化(国内循環型)



産業への波及効果 1：モビリティと次世代通信

モビリティ・EV産業



99%



既存のSi/SiC (95~97%) を凌駕する極限の電力変換効率。

最大 10%



バッテリー容量を増やさずに航続距離を延長。

最大 80%



卓越した熱伝導率による冷却システムの抜本的な軽量化・削減。

次世代通信インフラ・6G



240~600GHz



テラヘルツ波帯における高周波デバイス (TeraFETなど) の室温動作を実現。

熱ボトルネックの解消



高周波動作時の発熱を克服し、大容量データの遠距離伝送と基地局の大幅な省電力化を両立。

航空宇宙・防衛分野



SWaP(サイズ・重量・消費電力)の劇的改善

- レーダーシステムの高出力化に伴う液冷システムを排除・最小化。
- ペイロード制限の厳しいドローンや人工衛星への高性能レーダー搭載を可能にし、探知精度を向上。

電力インフラ



高電圧送電時のロス削減

- 2050年までに電力需要は50%増加し、電力の80%がパワーデバイスを経由すると予測。
- 極めて高い絶縁破壊電圧と低漏れ電流により、送電時の電力変換ロスを抜本的に削減。カーボンニュートラル基盤を支える。

日常生活と社会システムへの還元



1. モビリティ体験の進化

冷却部品の削減による車内空間の拡大とデザイン自由度の向上。
バッテリー最適化によるEV価格の低下と航続距離不安の解消。



2. シームレスな高度通信

基地局の小型化による景観を損なわない高密度設置。超低遅延ネットワークによる完全自動運転や遠隔医療・AR/VR体験の日常化。



3. 持続可能性とコストの安定

採掘を伴わない人工合成（CVD/HPHT）によるクリーンなESG特性。送電網の省電力化がもたらす社会全体のエネルギーコスト抑制。

経営層に求められる事業戦略と組織変革

クロスインダストリー・アライアンス

単独企業での全工程完結は非現実的。化学・機械・半導体・最終製品メーカー間の強固な連携による供給ネットワークの構築が不可欠。

ニッチ市場からの段階的マス展開

初期はコスト許容度の高い高付加価値ニッチ市場（過酷環境センサー、宇宙・防衛）から参入。量産ノウハウ蓄積後、EVの等のマス市場へ展開しリスクを最小化。

素材ポートフォリオの動的最適化

すべてを置き換えるのではなく、Si（低コスト）、SiC（中・高耐圧）、GaN（高周波）との適材適所を見極め、「差別化チップ」の内製化比率を高める。

結論：次世代産業エコシステムの構築に向けて

「第2のTSMC」の真意

汎用ロジック半導体の量産拠点を再現するのではない。
日本が得意とする高電圧・アナログ・パワーデバイス領域
における「代替不可能な製造クラスター」を構築すること。

工学的アプローチの勝利

福島第一原発の廃炉という過酷な課題が、純度追求から
「歩留まり最適化」への転換を促し、世界をリードする
実用化ノウハウを生み出した。

自律的成長エンジンへの回帰

産官学連携を通じ、純国内完結型のサプライチェーン
を確立。半導体産業は再び日本の経済安全保障を強固
にする中核的エンジンとなる。