

新動作原理によるダイヤモンド半導体パワーデバイスの作製に成功

かすう
国立大学法人 佐賀大学 嘉数 誠
kasu@cc.saga-u.ac.jp 0952(28)8648

サハ ニロイ(佐賀大)、金 聖祐(アダマント並木精密宝石)、大石敏之(佐賀大)

- 究極のパワー半導体物性をもつダイヤモンド半導体
- 大口径で高純度のダイヤモンドウェハ成長技術(現在1インチ)
- 新動作原理によるデバイス構造を考案(特許出願中)
- 世界最高レベルの $179\text{MW}/\text{cm}^2$ の高出力電力
- Beyond5G携帯基地局および電気自動車電力制御用デバイスに最適
- 宇宙空間でも真空管を置き換えて長期的に使用できる信頼性

M. Kasu, et al, Applied Physics Express 14, 051004 (2021).4月20日公開



図 1. Beyond 5Gに向けた半導体の高周波化・高出力化の必要

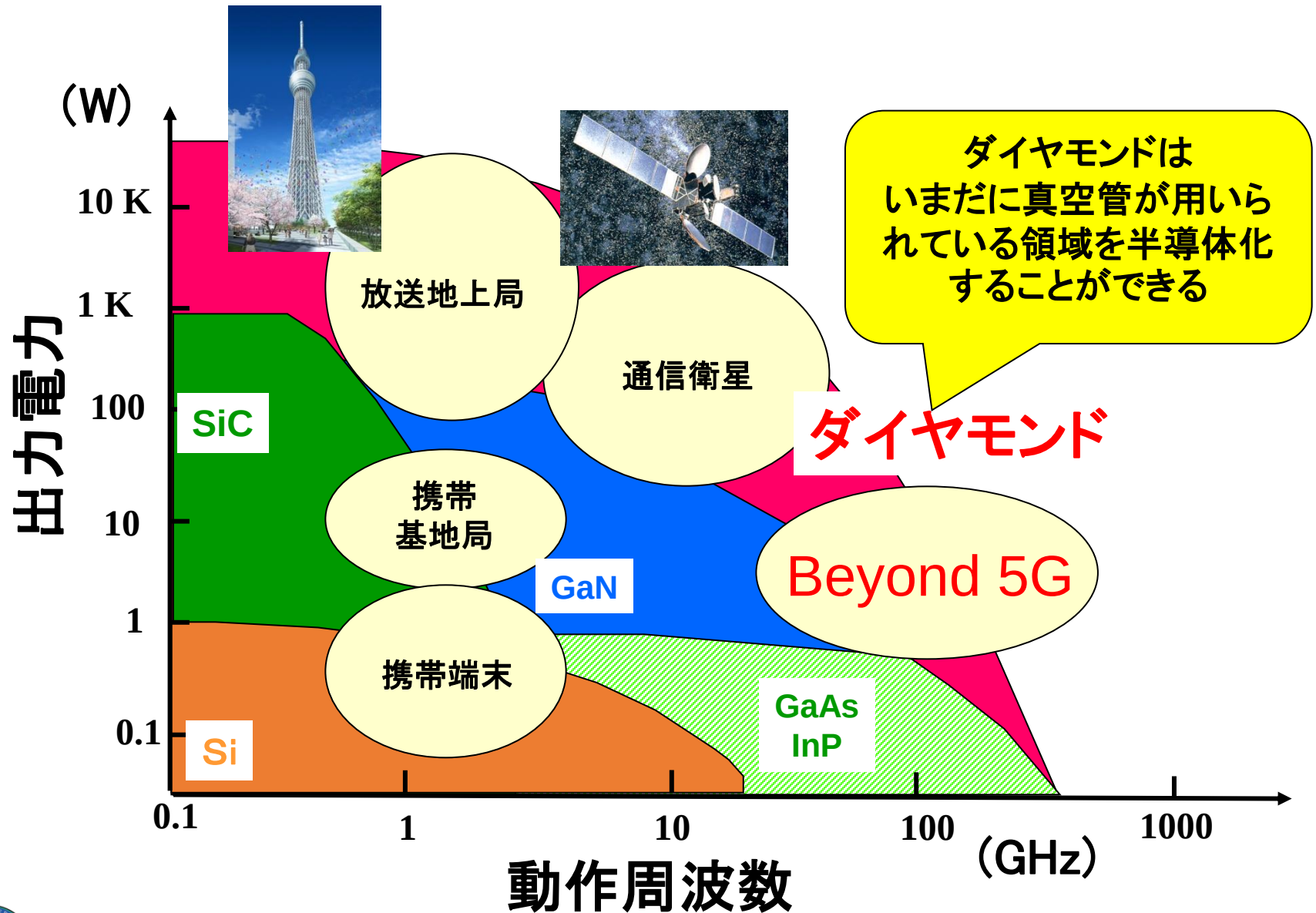
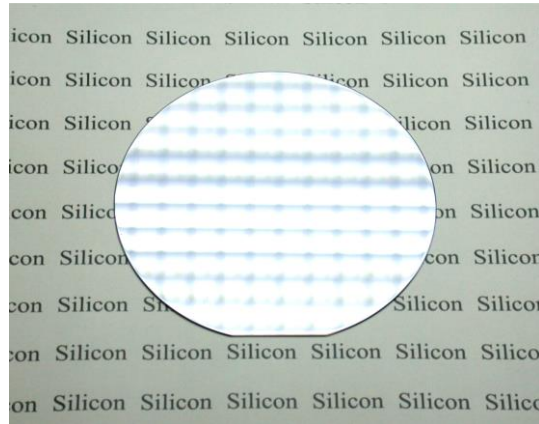


図2. ダイヤモンドの優れた物性から期待されるデバイス性能

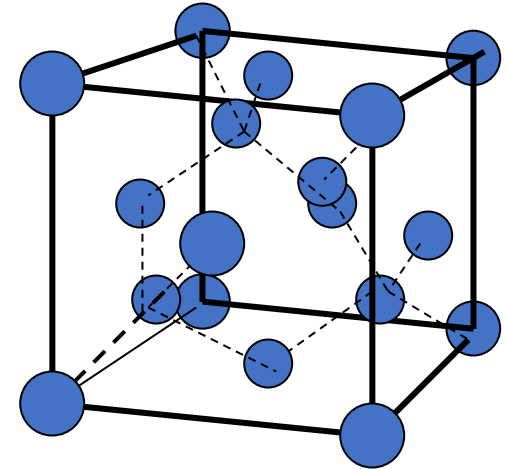
ダイヤモンド



シリコン



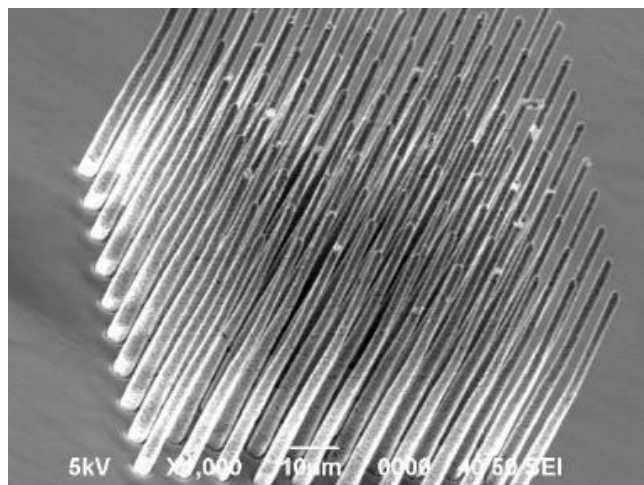
半導体の結晶構造



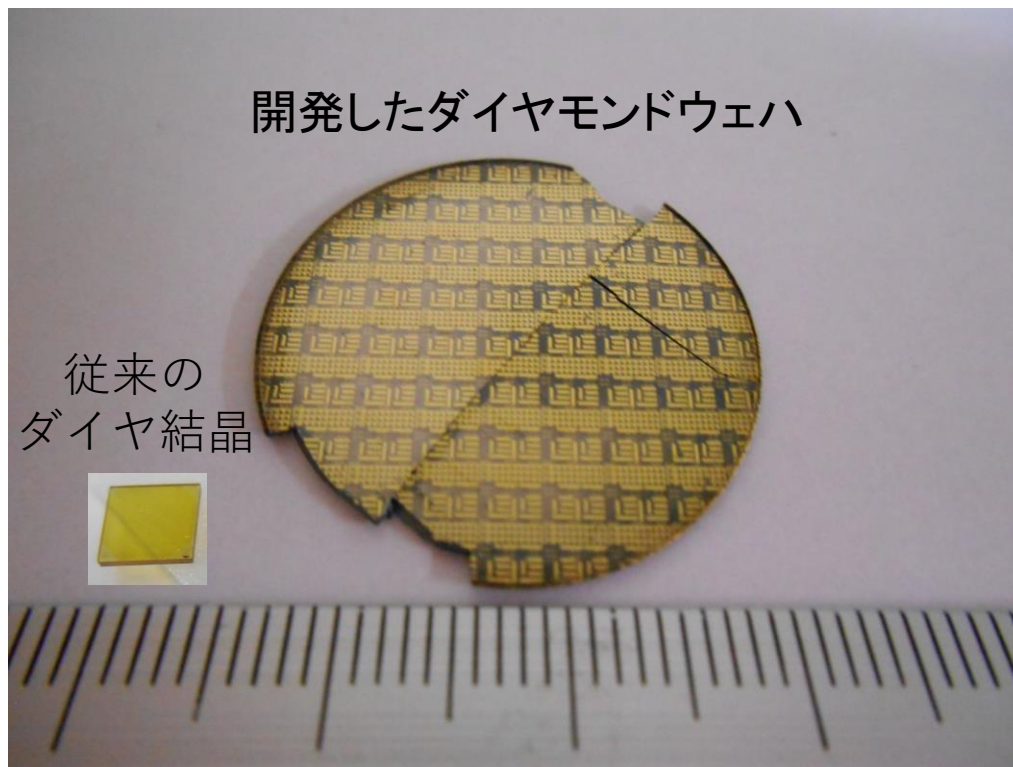
	シリ コン	SiC	GaN	ダイヤ モンド	ダイヤモンド 半導体の特性
バンドギャップ	1	2.9	3.0	4.9	5倍の高温で動作
絶縁破壊電界強度	1	9.3	16.6	33	33倍の高電圧で動作
熱伝導度	1	3.8	1.2	17	17倍放熱しやすい。温度上昇がない。
バリガ性能指数	1	580	3,800	49,000	5万倍大電力で高効率のデバイス特性
ジョンソン性能指数	1	420	1,100	1,225	1,200倍の6 G向け高速パワーデバイス特性

図3. 技術のポイント(1) 大口径で高純度のダイヤモンドウェハ成長技術

マイクロニードル法とサファイア基板を用い、
大口径で高純度の**ダイヤモンド結晶成長**が可能に



マイクロニードル法

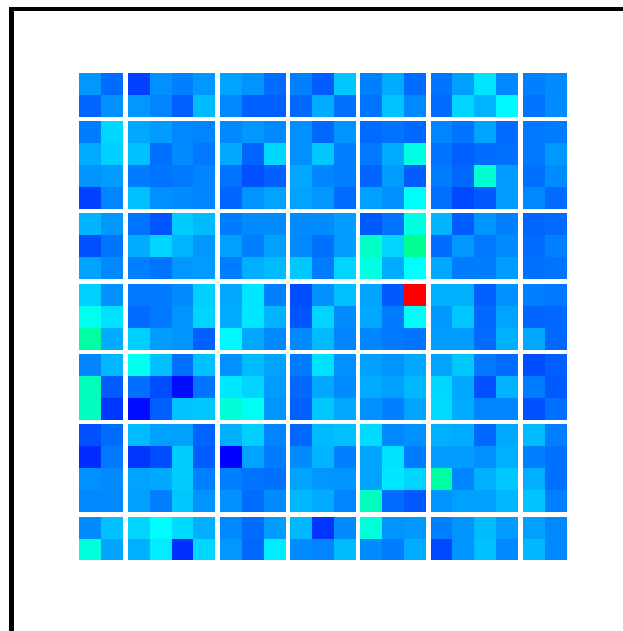


- 量産技術として、現在、世界最大の1インチ
- サファイア基板を用いるため、高品質で、最大6インチまで可能

ダイヤモンドの世界最高品質をシンクロトロンで実証



佐賀県シンクロトロン光研究センター



ウェハ全面で最高品質

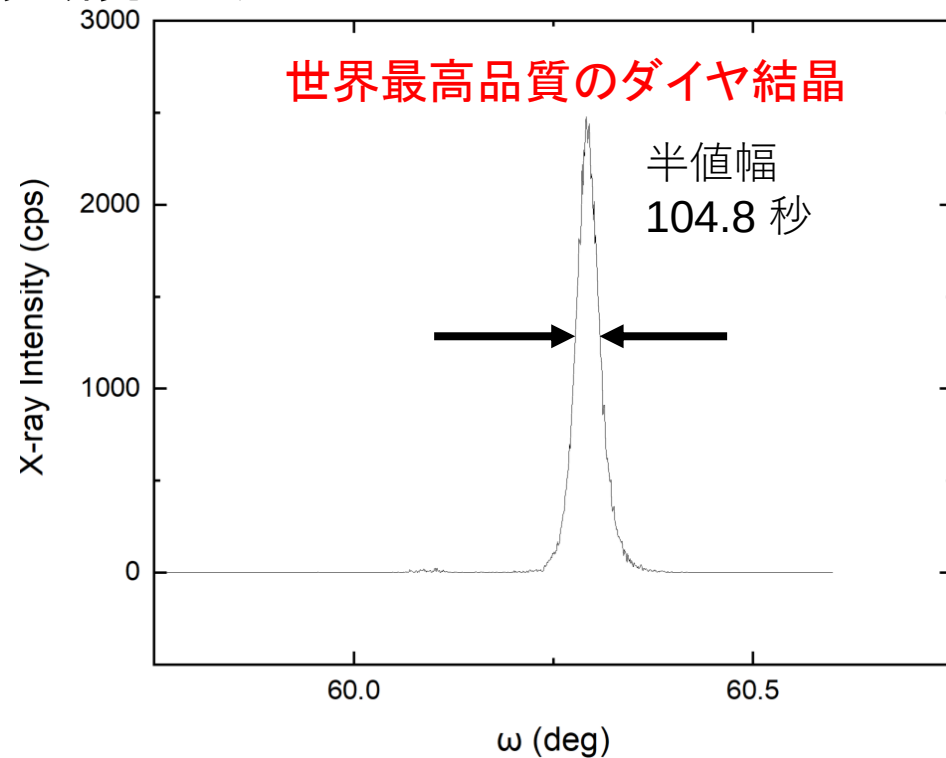
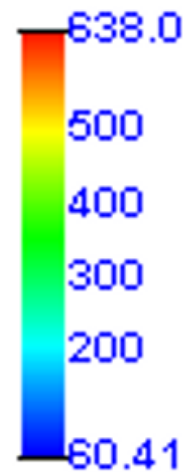
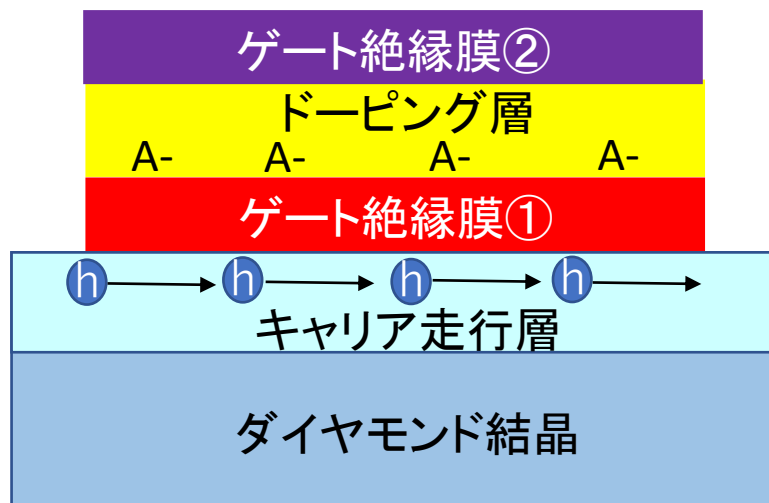


図4. 技術のポイント（2）新動作原理のダイヤモンド半導体デバイス

新動作原理の構造

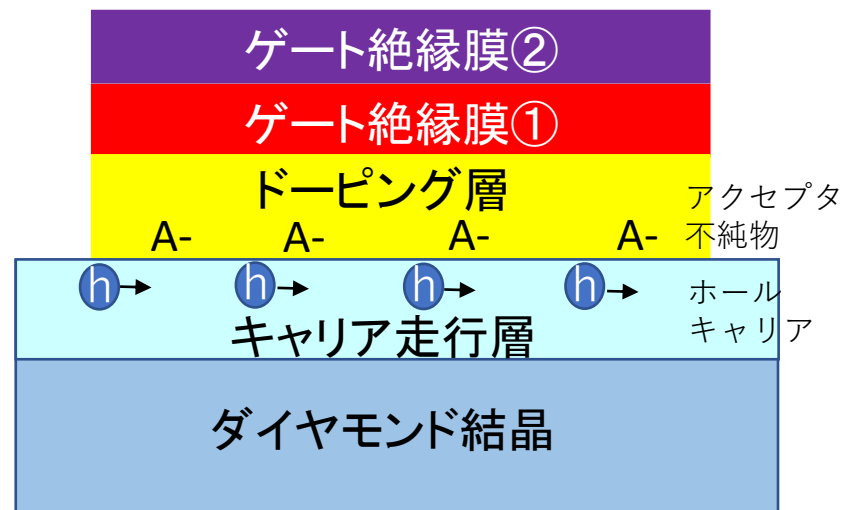


ドーピング層とキャリア走行層を空間的に分離

キャリア(h)は、アクセプタ不純物(A-)の影響を受けず、移動度が格段に向上

ドーピング層とキャリア走行層が離れており、化学反応せず、劣化なし

従来の構造



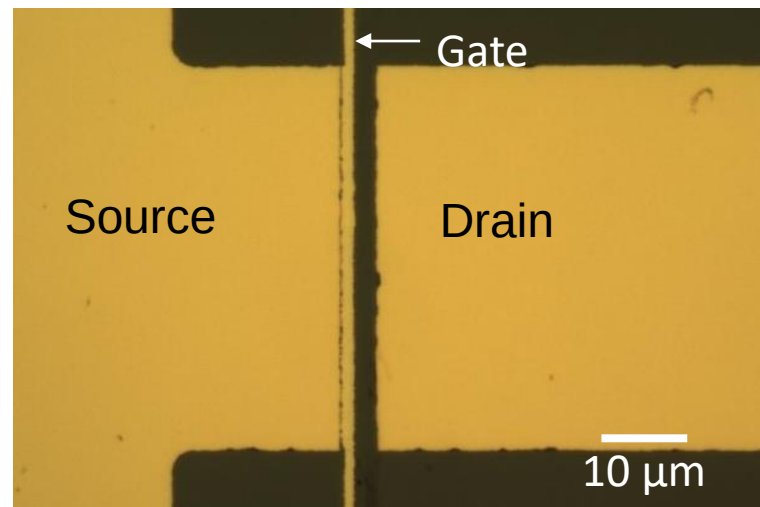
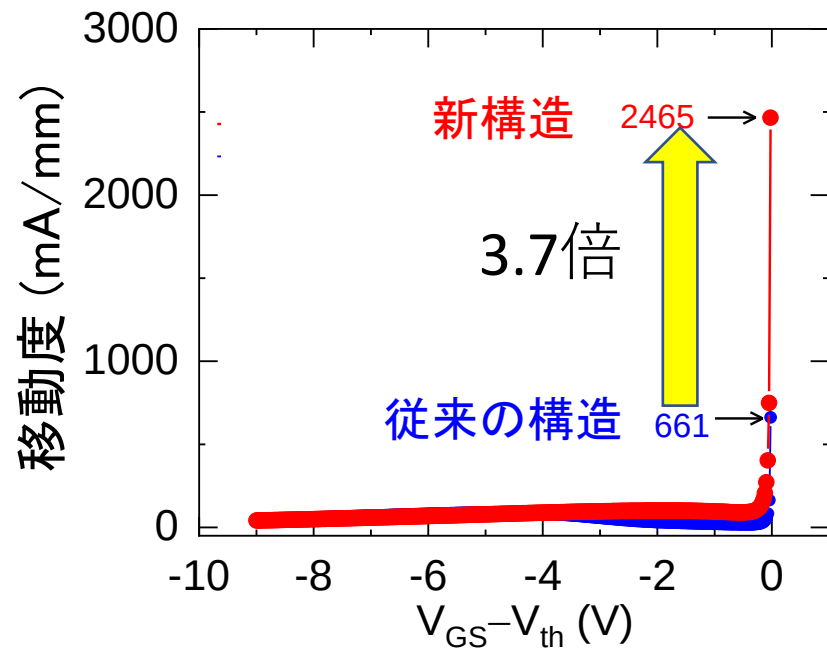
ドーピング層とキャリア走行層は近接

キャリア走行層のキャリア(h)は、ドーピング層のアクセプタ(A-)のため、移動度が極端に低下

ドーピング層中の酸素とキャリア走行層中の水素が化学反応し、すぐに劣化

図5. 極めて高いキャリア移動度を実証

ダイヤモンド本来の理想値に近い高キャリア移動度(2465 cm²/Vs)をデバイス特性で実証



作製したダイヤモンド半導体デバイス

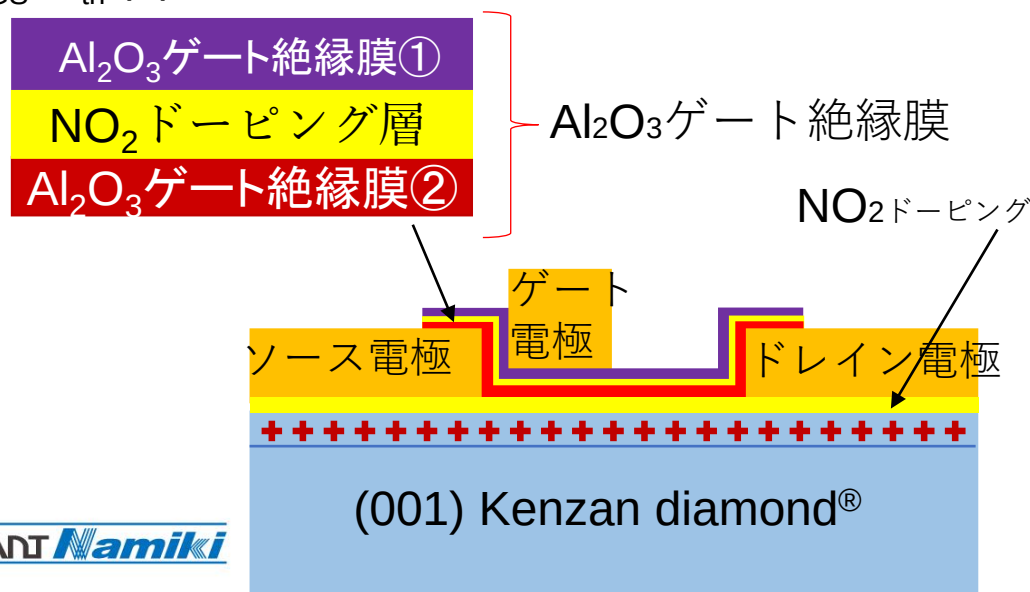
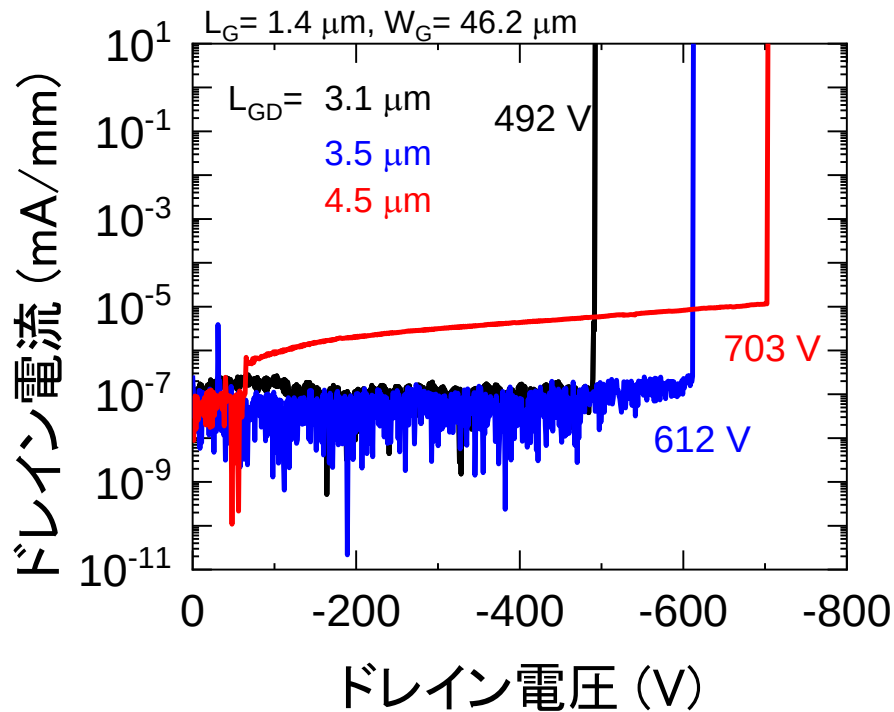


図 6. 技術のポイント (3) 世界最高の大電力を実証

ダイヤで**世界最大**の179 MW/cm²の**電力**を実証

高電圧



大電流

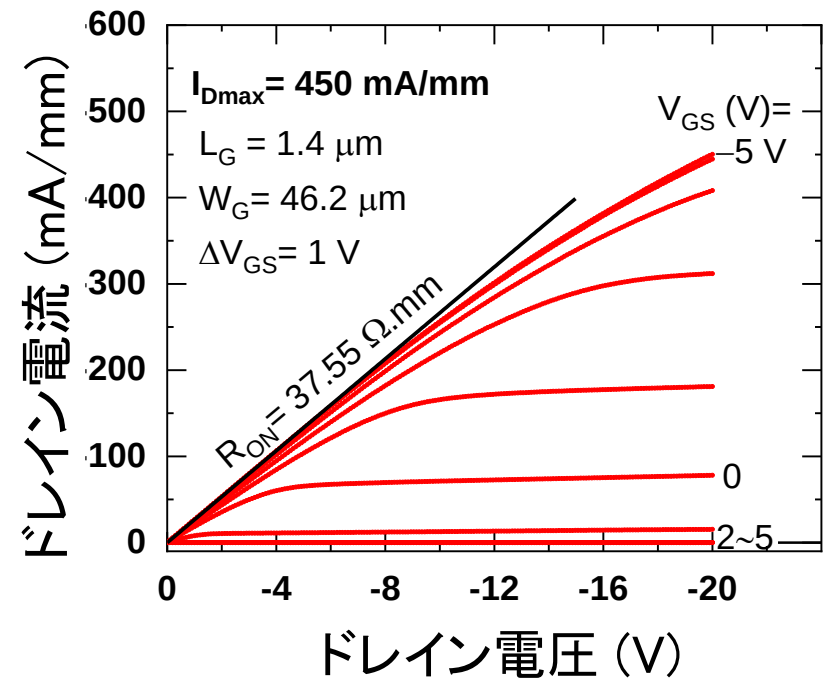
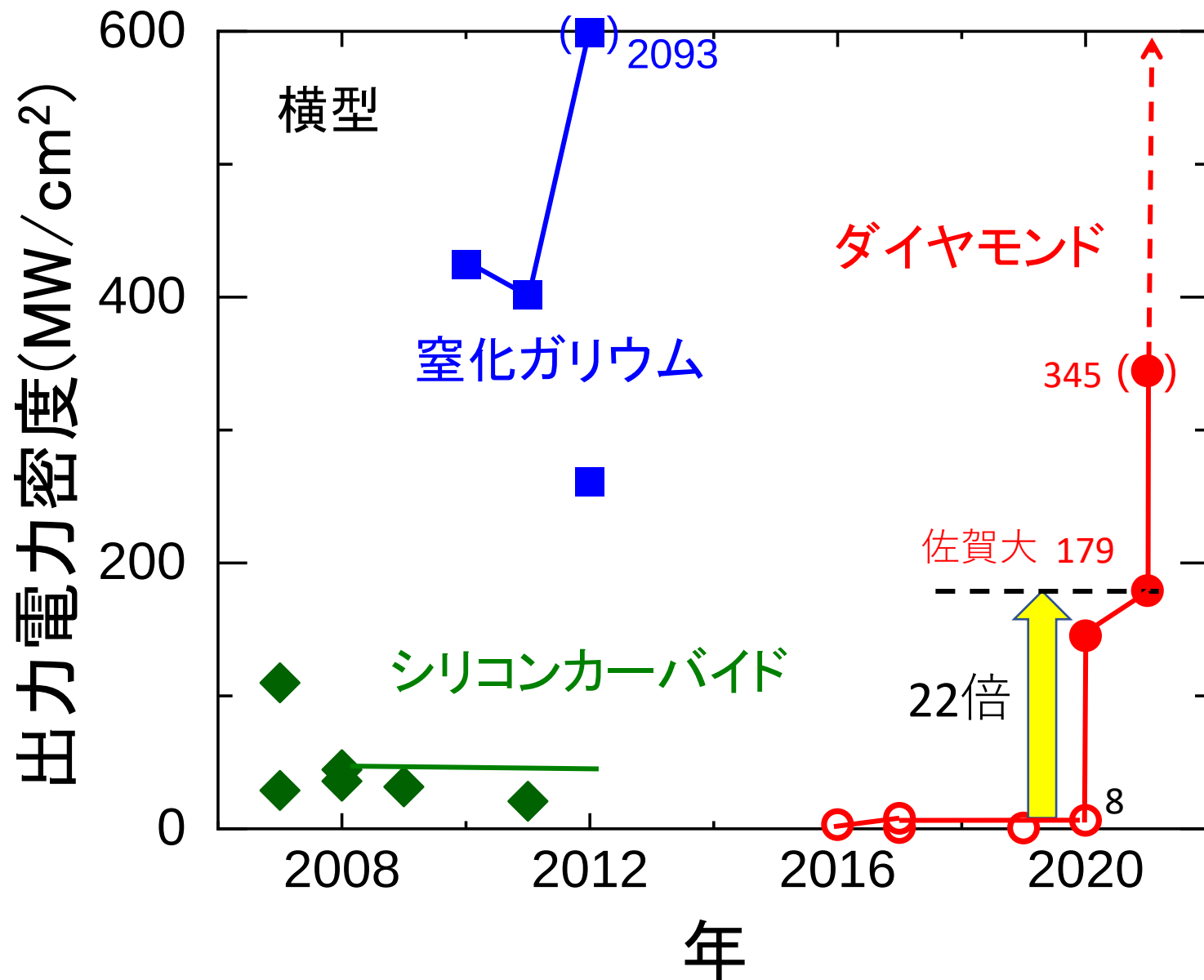


図7. デバイス周辺技術により実用化へ



まとめ

- 究極のパワー半導体物性をもつダイヤモンド半導体
- 大口径で高純度のダイヤモンドウェハ成長技術(現在1インチ)
- 新動作原理によるデバイス構造を考案(特許出願中)
- 世界最高レベルの $179\text{MW}/\text{cm}^2$ の高出力電力
- Beyond5G携帯基地局および電気自動車電力制御用デバイスに最適
- 宇宙空間でも真空管を置き換えて長期的に使用できる信頼性



補足説明 その他のダイヤモンド半導体の用途

【制御用パワー半導体】



- スイッチングが早く滑らかに運転制御
- 放熱性が高く小型化、軽量化

(出所：川辺謙一、燃料電池自動車のメカニズム)

【送電用パワー半導体】



- 電圧等の変換ロス少なく高効率
- 高電圧、大電流に対応

(出所：岩本晃一、洋上風力発電)

【6G】



- 高出力、高周波で通信高速化
- 放熱性が高く小型化、省エネ化

(出所：テック&サイエンス)

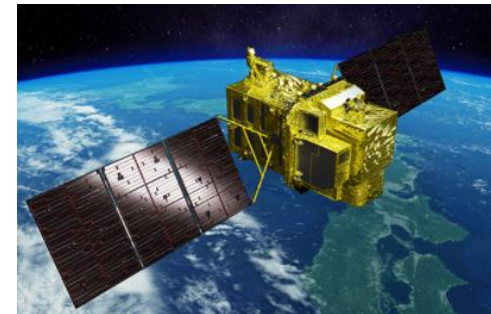
【量子コンピュータ】



- 高出力、高周波で演算が高速化
- 放熱性が高く省エネ化

(出所：Googleの量子コンピュータD-Wave)

【航空・宇宙】



- 高出力、高周波で演算が高速化
- 放熱性が高く小型化、省エネ化

(出所：JAXAだいち3号HP)