

宇宙通信向けダイヤモンド半導体高周波パワーデバイスの開発を開始

国立大学法人 佐賀大学 ^{かすう} 嘉数 誠

kasu@cc.saga-u.ac.jp, 090(2202)5638, 0952(28)8648

富木淳史（JAXA宇宙科学研究所）、江口正徳（呉工業高等専門学校）

- ダイヤモンド半導体デバイスによる、宇宙通信向けマイクロ波電力増幅デバイスを開発し、実用化を目指す。
- ダイヤモンド半導体デバイスを使用した、搭載用マイクロ波帯固体増幅器の試作をおこない、超小型衛星等の飛翔機会を活用して宇宙実証を目指す。
- 宇宙用だけでなく、地上用アプリケーションのユーザーや商業化を担う民間企業とコミュニケーションを図りながら低コスト化・事業化の計画を検討する。

図 1. 宇宙やBeyond5Gに向けた半導体の高周波化・高出力化の必要

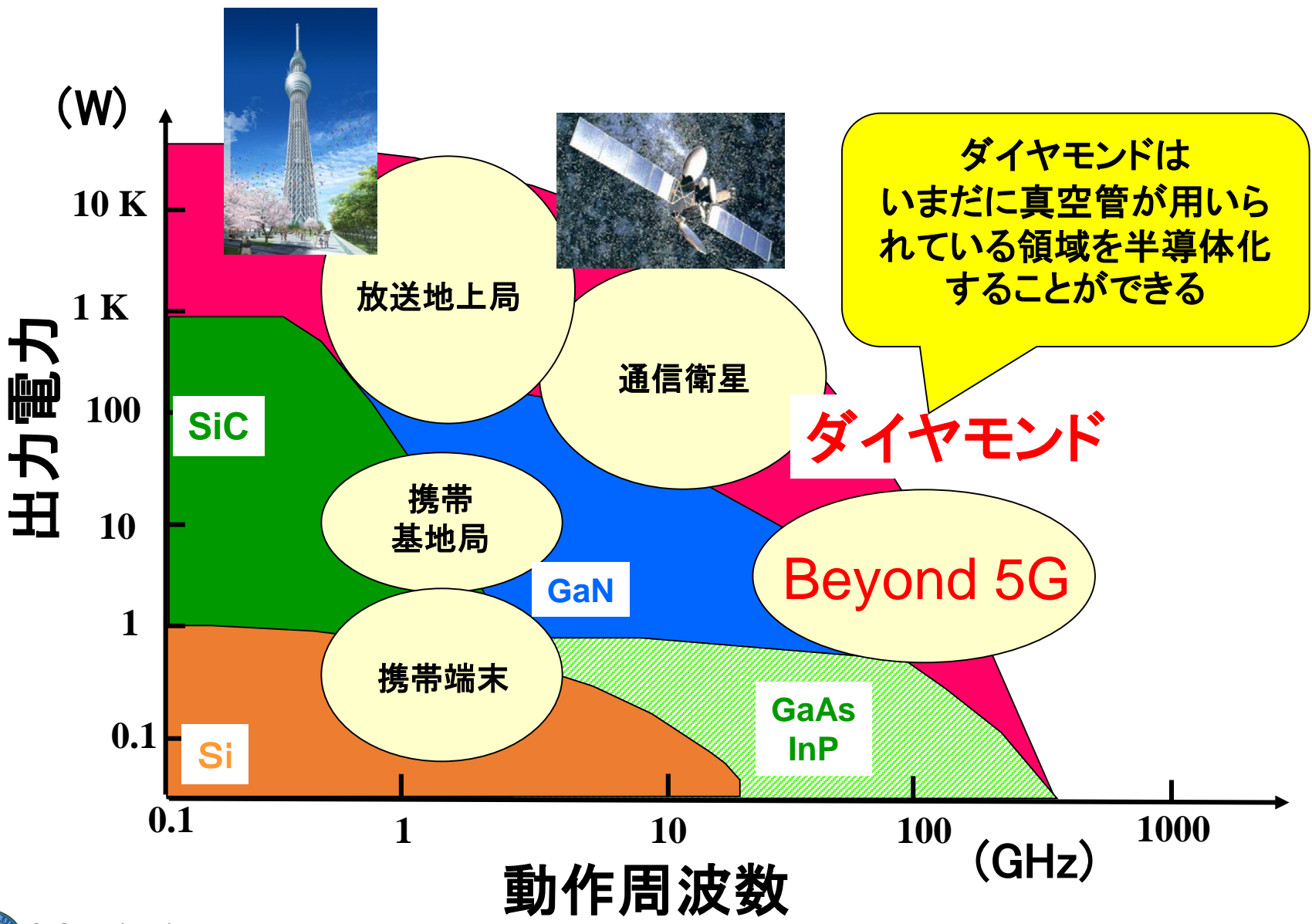
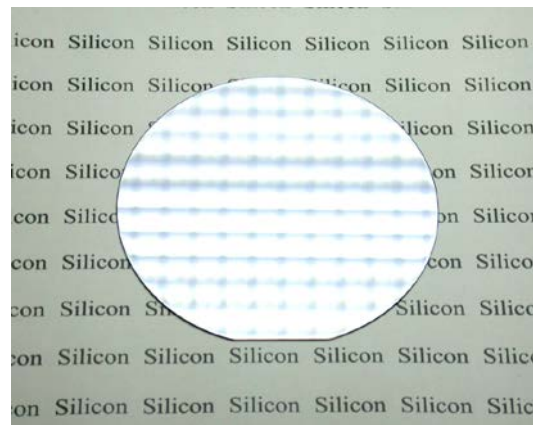


図2. 優れたダイヤモンド半導体の物性値

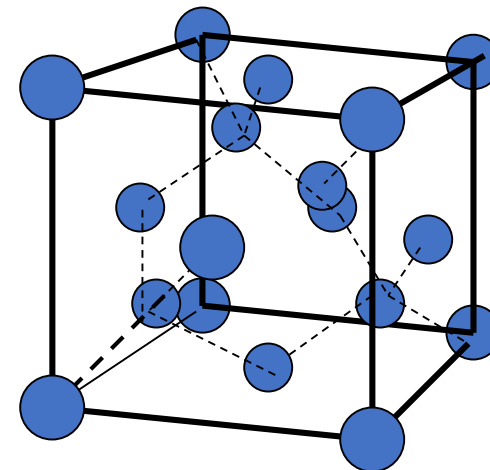
ダイヤモンド



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2. 優れたダイヤモンド半導体の物性値

Material	E_G (eV)	E_{BR} (MV/cm)	v_{sat} ($\times 10^7$ cm/s)	μ (cm ² /Vs)	ϵ_r	λ (W/cmK)
Diamond	5.47	>10	1.5 (e) 1.05 (h)	~ 4500 (e) ~ 3800 (h)	5.7	22
Ga ₂ O ₃	4.8	8	---	~ 300 (e)	10	0.23
SiC	3.26	2.8	2.2 (e) 1.3 (h)	~ 1200 (e) ~ 120 (h)	9.8	4.9
GaN	3.4	5	2 (e)	~ 2000 (e)	8.9	1.5
GaAs	1.4	0.4	1-2 (e)	~ 8500 (e) ~ 400 (h)	12.9	0.55
Si	1.1	0.3	1 (e)	~ 1400 (e) ~ 450 (h)	11.7	1.3

Baliga デバイス性能指数
(電力・効率性能)

$$BFOM = \epsilon \cdot \mu \cdot E_{BR}^3$$

$$\frac{Diamond}{Si} \approx 48975$$

Johnson デバイス性能指数
(高周波電力性能)

$$JFOM = \left(\frac{E_{BR} \cdot v_{sat}}{2\pi} \right)^2$$

$$\frac{Diamond}{Si} \approx 1225$$

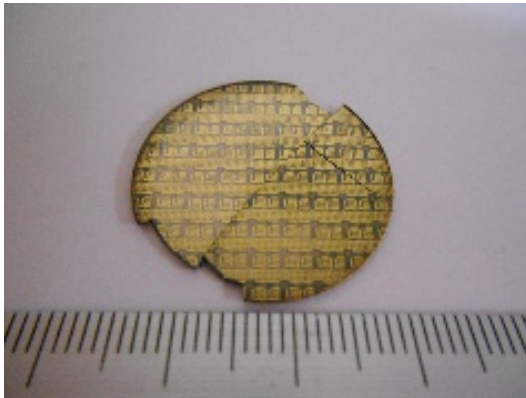
図3. 本プロジェクトの概要

文部科学省「宇宙開発利用加速化戦略プログラム」の委託による

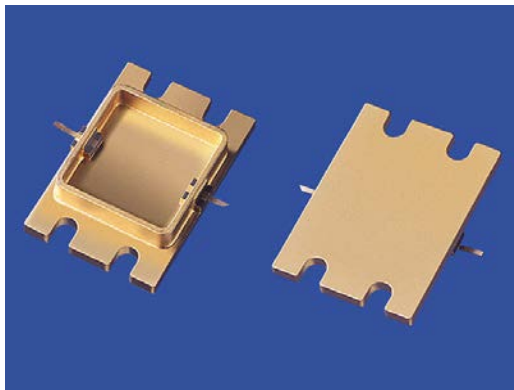
デバイス開発

回路開発

コンポ開発



ダイヤモンド
MOSFET(佐賀大)



パッケージ封止(イメージ)

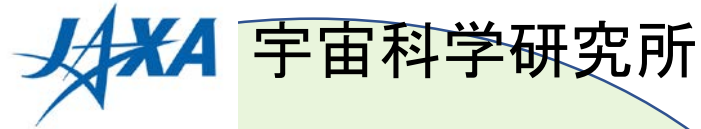
マイクロ波回路化
電気特性の測定
信頼性・耐宇宙環境性



コンポーネント化による宇宙実証(イメージ)

役割と体制

文部科学省「宇宙開発利用加速化戦略プログラム」の委託による



総括
マイクロ波回路開発に関わる技術開発
搭載コンポーネント試作



佐賀大

ダイヤモンドを用いた
宇宙用マイクロ波電力増幅デバイス
開発(本体)



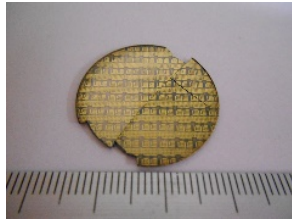
呉高専

ダイヤモンドを用いた
宇宙用マイクロ波電力増幅デバイス開発
(ナノメートル半導体リソグラフィ)

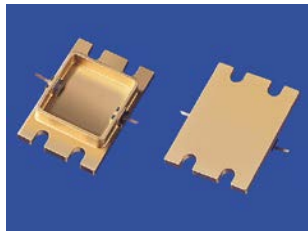
研究計画（5年間の予定）

前半3年間（2023～2025年度）

- ダイヤモンドMOSFETチップを、ゲート電極をサブミクロン化し、マイクロ波帯周波数で動作可能なデバイスを開発

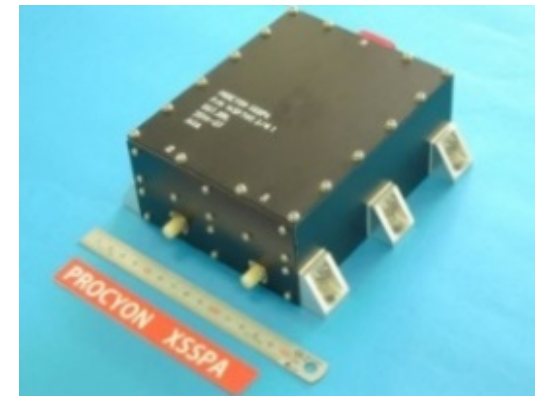


- チップをパッケージ化し、基板に実装してマイクロ波特性を測定するとともに、電力増幅回路を試作



後半2年間（2026～2027年度）

- 信頼性および耐宇宙環境性の評価を実施
- 最終的に搭載用固体増幅器の試作
- 超小型衛星等の飛翔機会を活用し、宇宙実証



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witching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】



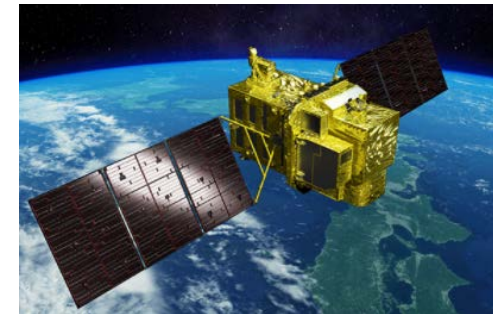
- 高出力、高周波で通信高速化
 - 放熱性が高く小型化、省エネ化
- (出所：テック&サイエンス)

【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)