



# 次世代パワー半導体材料 ルチル構造二酸化ゲルマニウムの社会実装に向けて

Patentix株式会社

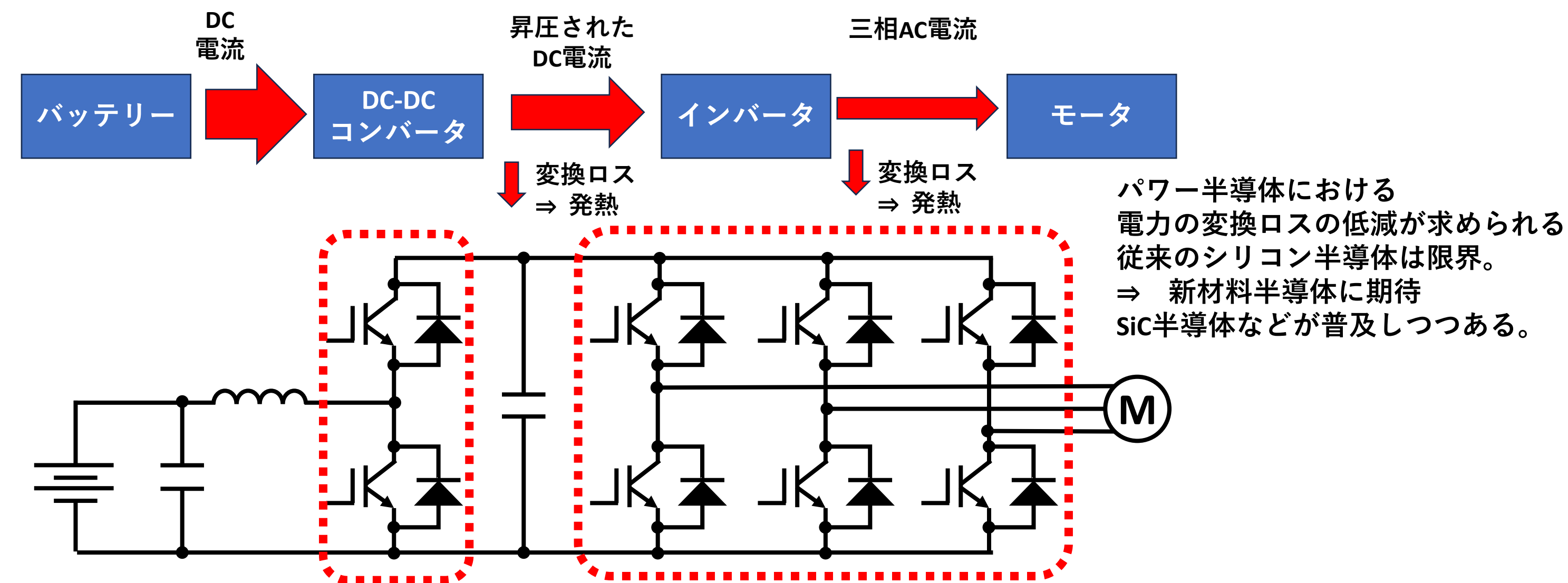
## 概要

ルチル構造二酸化ゲルマニウム ( $r\text{-GeO}_2$ ) はバンドギャップ4.7eVを有し、p型n型の両伝導が可能と予想される、ポストSiCを狙う新しいパワー半導体材料の候補である。当研究グループは、 $\text{TiO}_2$ 基板上的 $r\text{-GeO}_2$ 結晶膜のヘテロエピタキシャル成長、Sbドーピングによるn型伝導、ショットキーバリアダイオード (SBD) の動作実証、バルク結晶の合成、などを既に達成している。

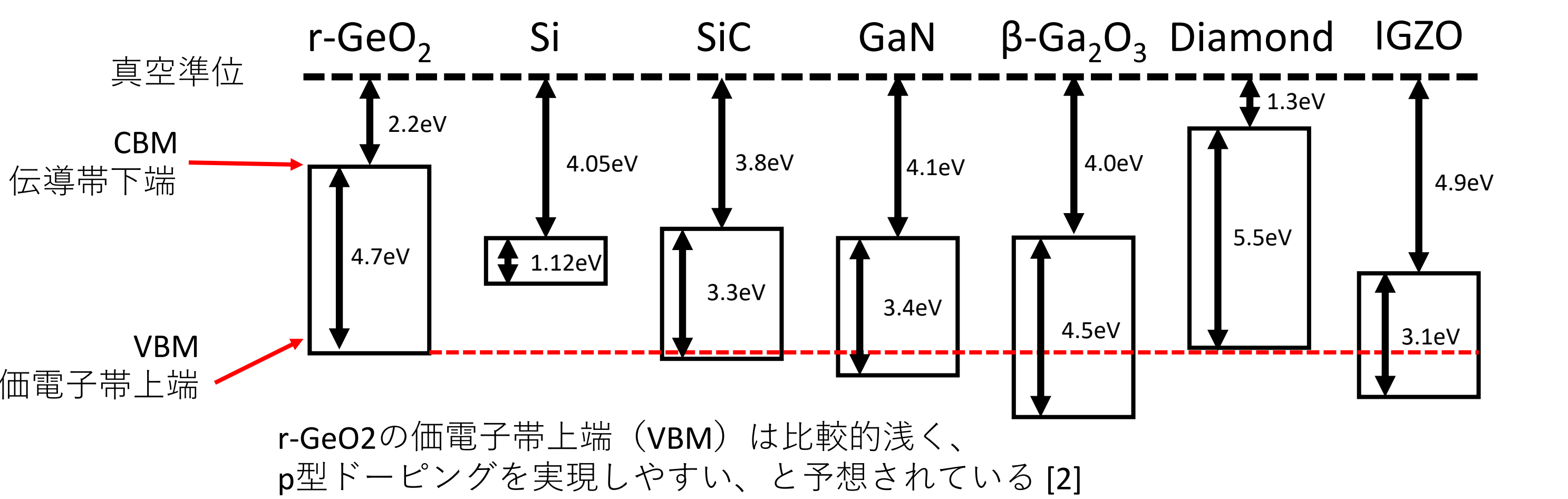
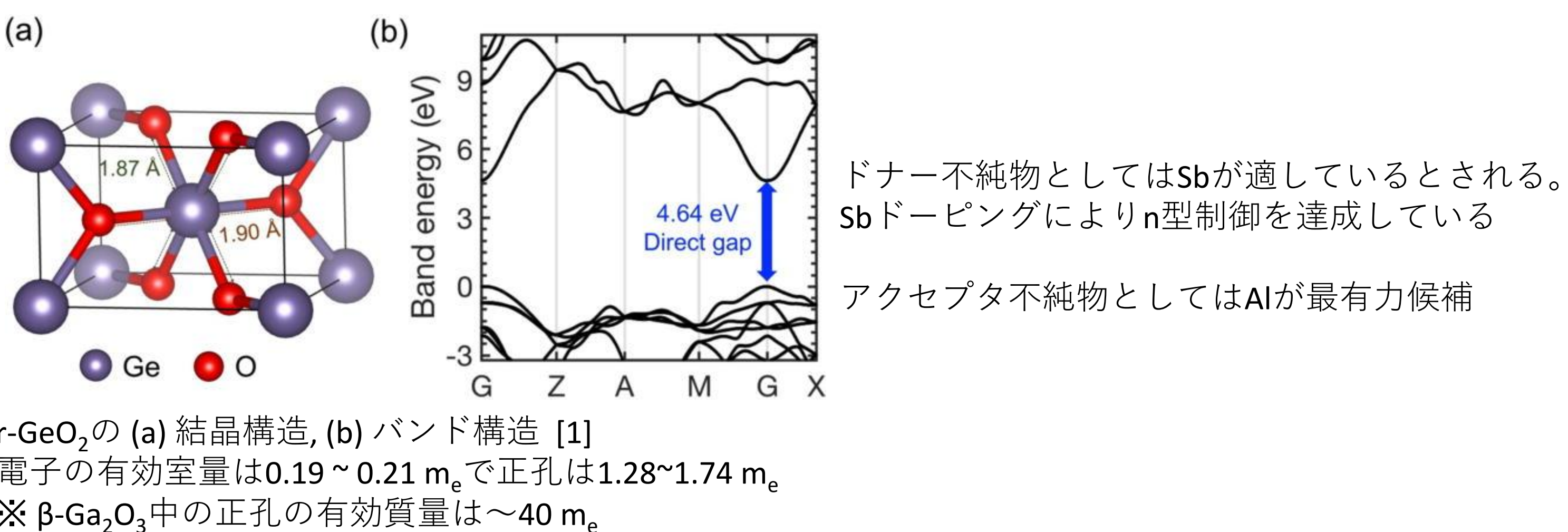
$r\text{-GeO}_2$ 半導体の社会実装に向けて、SiC市場の代替と新しい応用の開拓を目指しており、SiC市場の代替を目指してSi基板上的 $r\text{-GeO}_2$ ヘテロエピ基板を、新しい応用開拓を目指してハーフインチサイズのバルク $r\text{-GeO}_2$ 基板の開発を行っている。

## パワー半導体：電力変換に使われる半導体

例) BEVのモータ駆動回路



## ルチル構造二酸化ゲルマニウム ( $r\text{-GeO}_2$ )



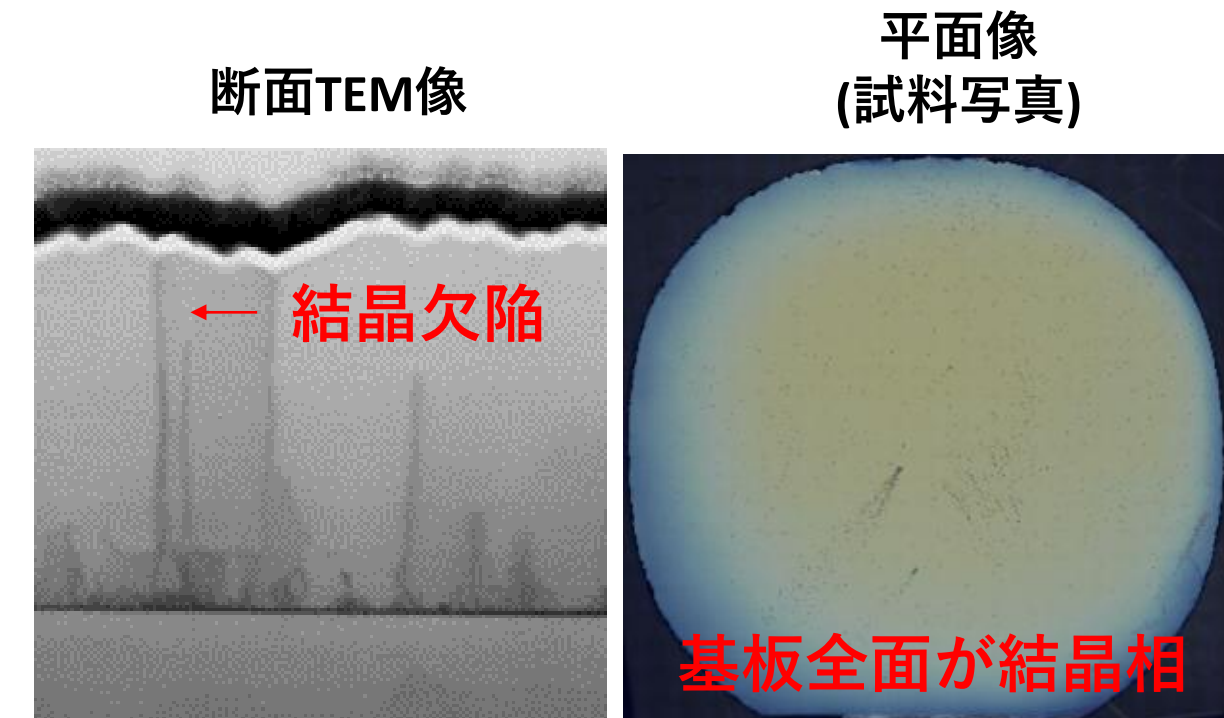
## 他のパワー半導体材料との比較

材料名	$r\text{-GeO}_2$	Si	SiC	GaN	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$	ダイヤモンド
バンドギャップ [eV]	4.7	1.1	3.3	3.4	4.5	5.5
電子移動度 [ $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ]	377(n) 29(p)	1500	1000	1200	180~300	1700(n) 570(p)
比誘電率	12.2~14.5	11.8	9.7	9.0	10.2~12.4	5.7
熱伝導率 [ $\text{W}/\text{cmK}$ ]	0.51	1.45	3.70	2.53	0.11~0.27	33.2
省エネ指数 (バリガ性能指数)	3400 ~ 4000	1	340	870	715~1900	24664
pn両伝導	○	○	○	○	× p型困難	× n型困難
応用デバイス	SBD, MOSFET	SBD,IGBT, MOSFET	SBD, MOSFET	HEMT	SBD, MOSFET	SBD, MOSFET
基板価格	3万円/6"目標 ( $\text{GeO}_2$ on Si)	数千円/8"	5-20万円/6"	20-30万円/4"	20-70万円/4"	2-3万円/ $\text{cm}^2$
加工性	○	○	×超硬	×硬い	×割れ易い	×超硬
ピッカース硬度	1610 Hv(実測)[4]	1050 Hv	2500~3000 Hv	1800~2000 Hv		7000HV

- バリガ性能指数はSiの3400~4000倍、SiCの10倍。
- 基板コストは $\text{GeO}_2$  on Siが実現すればSiCよりは安価に。
- 他の超ワイドバンドギャップ半導体と違い、pn両伝導の作製が可能。⇒デバイス応用範囲が広い

## これまでの主な研究成果

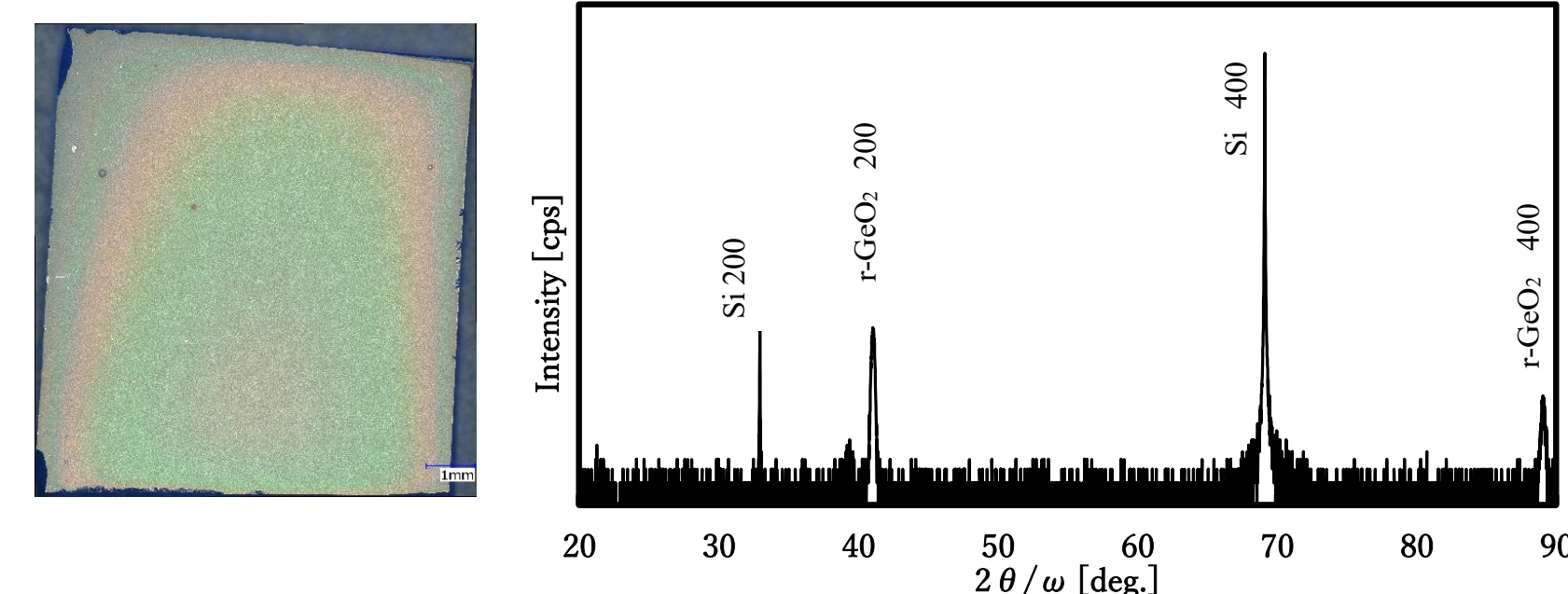
### ○ 単結晶薄膜の合成 ( $\text{TiO}_2$ 基板上)



基板全面に結晶相が広がる  
成膜不良部分なし  
欠陥密度が小さい(従来比100分の1)

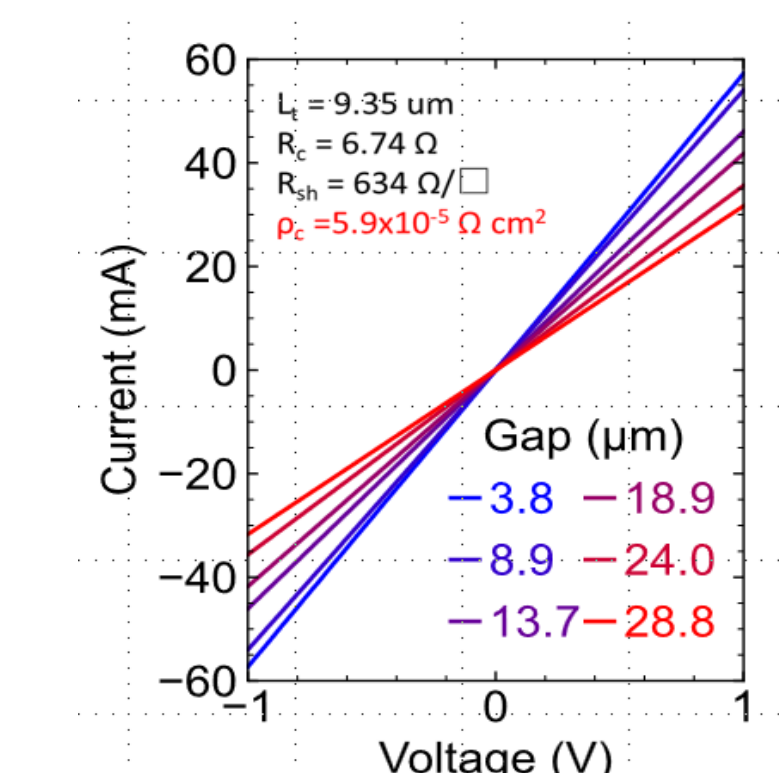
### ○ Si基板上的 $r\text{-GeO}_2$ 結晶膜の成膜

※  $\text{GeO}_2$  on Si基板



Si(100)基板上的導電性バッファ層上に成膜された $r\text{-GeO}_2$ 薄膜の外観写真とXRDプロファイル

### ○ n型ドーピング[3]

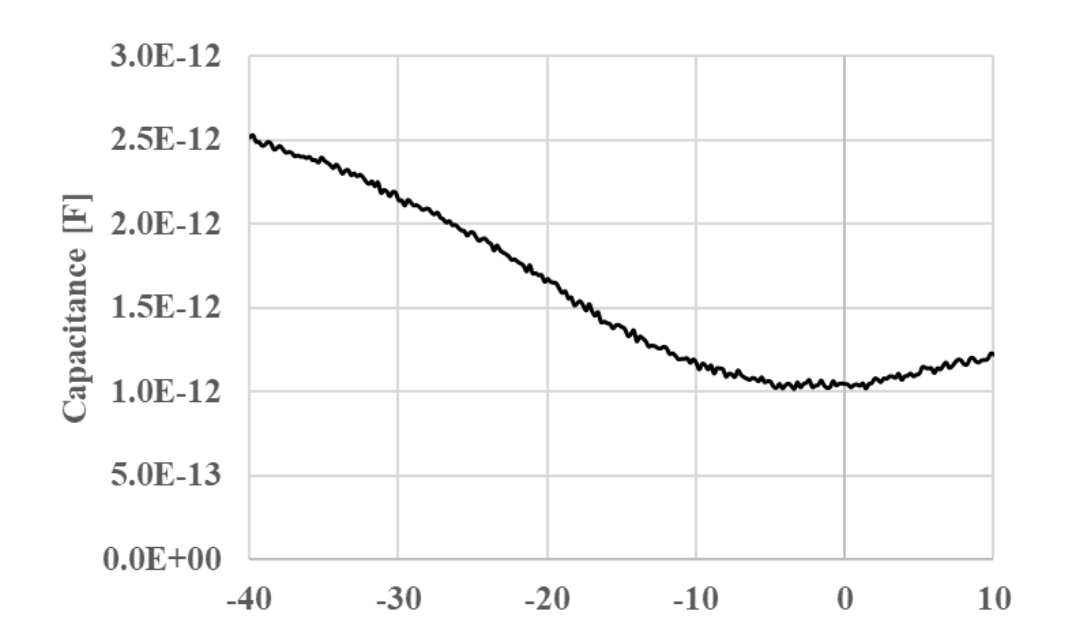
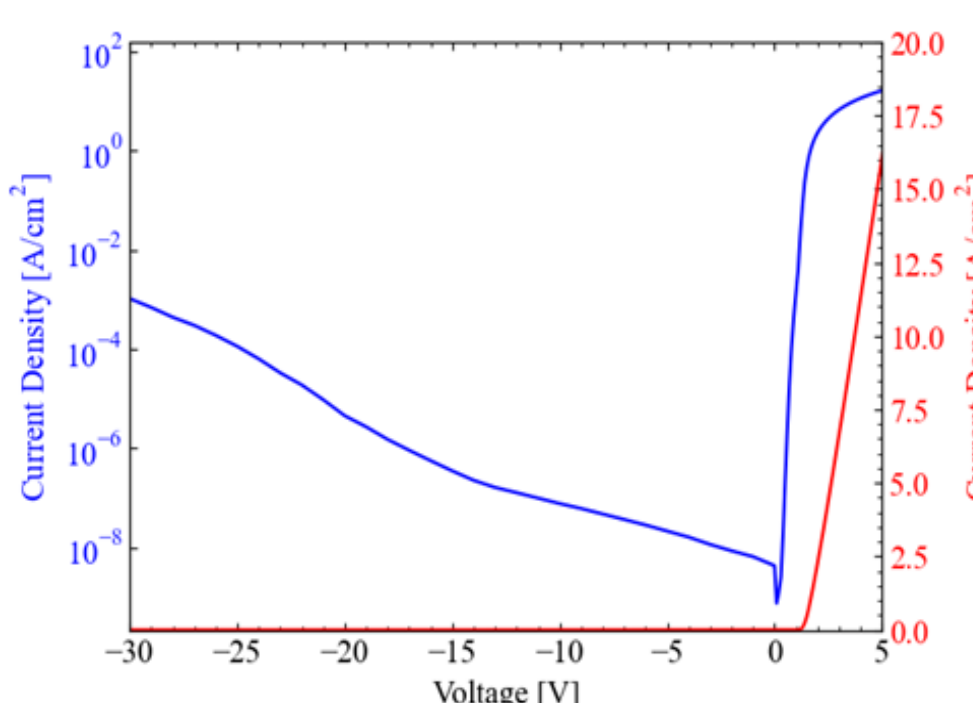
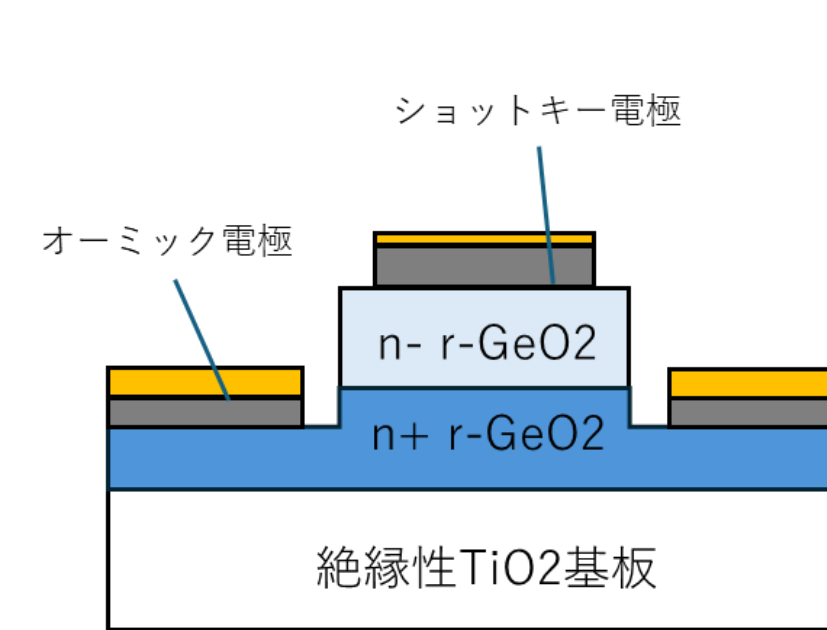


Sbドーピングにより、  
良好なオーミック接触を確認

### ○ バルク結晶の合成[4]と結晶育成



### ○ 世界初の疑似縦型SBD [5]

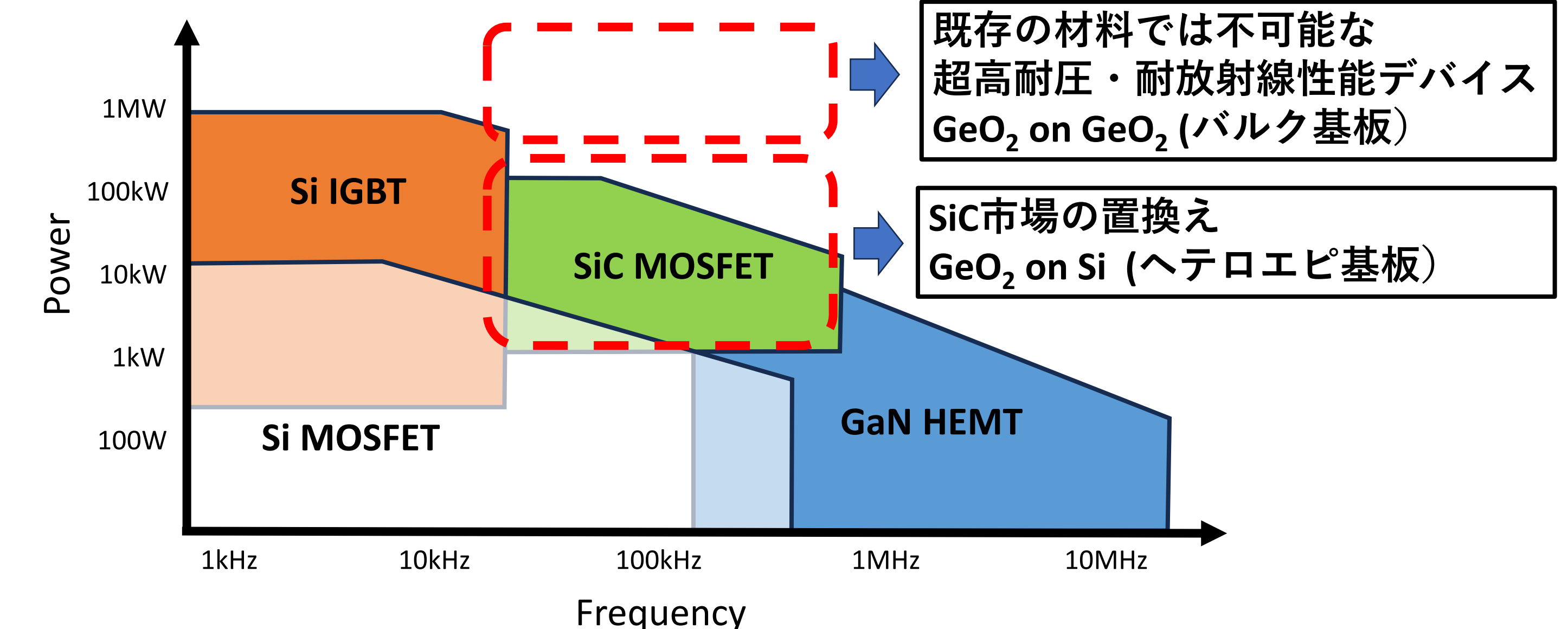


試作した疑似縦型SBDの断面模式図

疑似縦型 $r\text{-GeO}_2$  SBDの  
電流-電圧(I-V)特性  
約10桁のON/OFF比を示した

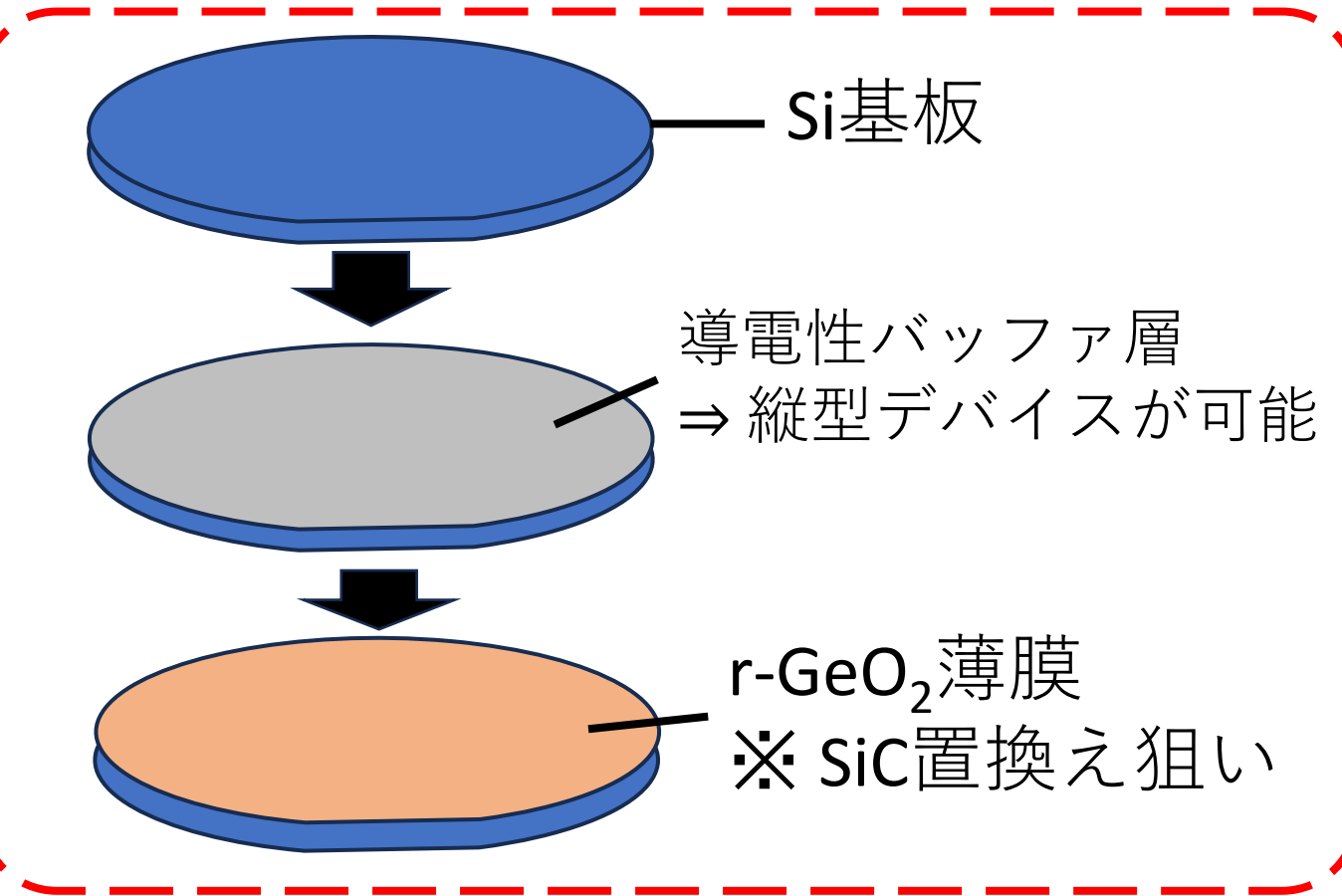
アクセプタ不純物をドーブした $r\text{-GeO}_2$ 薄膜でp型伝導を示唆する  
C-V特性を確認  
⇒ Hall効果測定等を検討中

## ターゲット市場

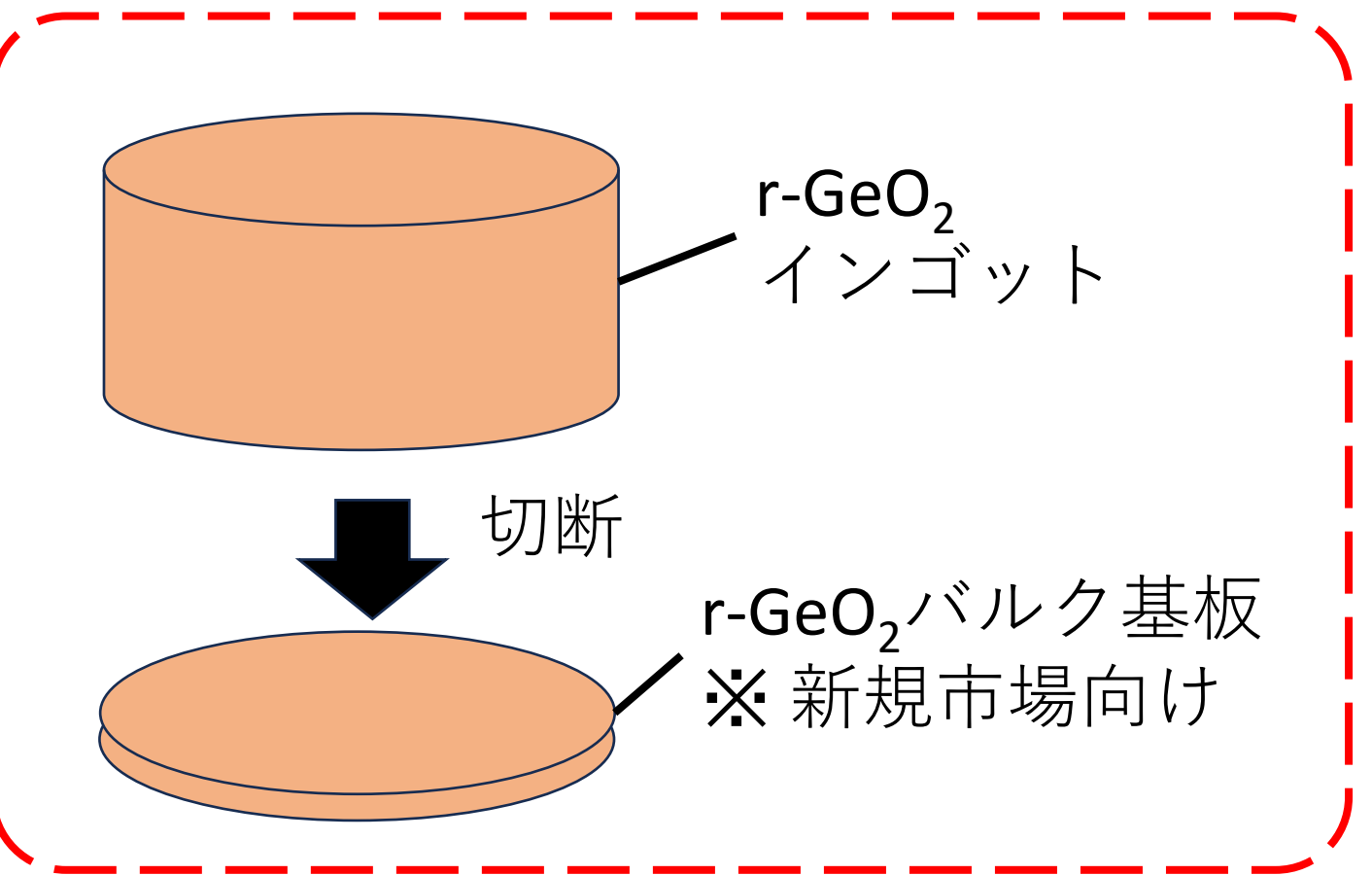


## ふたつの開発目標と課題

### ○ ヘテロエピ基板



### ○ バルク基板



	ヘテロエピ基板 ( $\text{GeO}_2$ on Si基板)	バルク基板 ( $\text{GeO}_2$ on $\text{GeO}_2$ 基板)
ターゲット市場	SiC市場の置換え 基板単価: 3万円/6" 目標	新しい応用・市場の開拓 超高耐圧・耐放射線
基板サイズ	6インチ以上 ※ 既存のSi or SiCライン向け	ハーフインチ (0.5インチ) ※ ミニマルファブ向け
主な開発課題	・導電性バッファ層の探索 ・大面積成膜装置の開発 ・結晶品質の向上	・ハーフインチサイズの結晶育成 ・バルク結晶のn型ドーピング

参考文献

- [1] S. Chae, et al., "Rutile  $\text{GeO}_2$ : An ultrawide-band-gap semiconductor with ambipolar doping," Appl. Phys. Lett. 114, 102104 (2019).
- [2] C. A. Niedermeier, et al., "Shallow valence band of rutile  $\text{GeO}_2$  and P-type doping," J. Phys. Chem. C, 124(47) (2020): pp. 25721-25728.
- [3] 清水 悠史 他, 「n型伝導ルチル構造二酸化ゲルマニウム薄膜の作製」 第85回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-A22-16 (2024).
- [4] 川西 健太郎 他, 「 $r\text{-GeO}_2$ バルク結晶の物性評価」, 第86回応用物理学会秋季学術講演会, 7a-N322-11 (2025).
- [5] 清水 悠史 他, 「ルチル構造二酸化ゲルマニウム( $r\text{-GeO}_2$ )のショットキーバリアダイオード特性」 第72回応用物理学会春学期学術講演会, 15a-K403-11 (2025).