



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

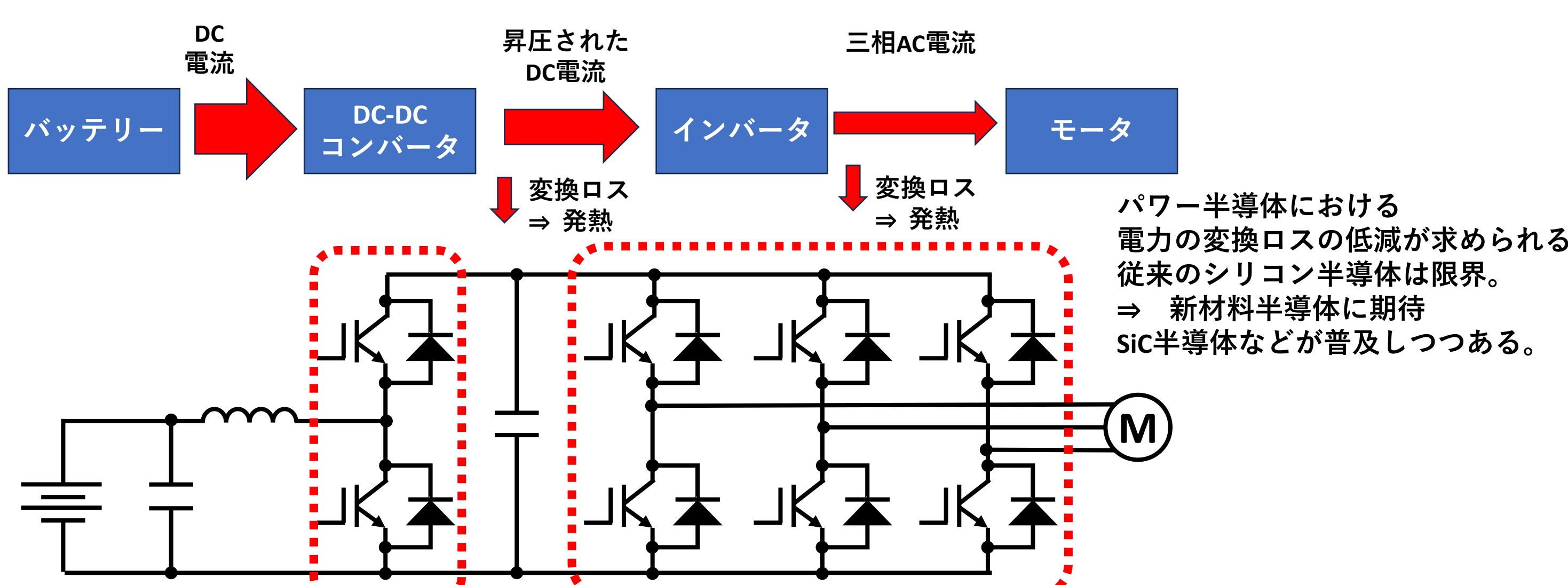
概要

ルチル構造二酸化ゲルマニウム (r-GeO₂) 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、TiO₂基板上のr-GeO₂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。

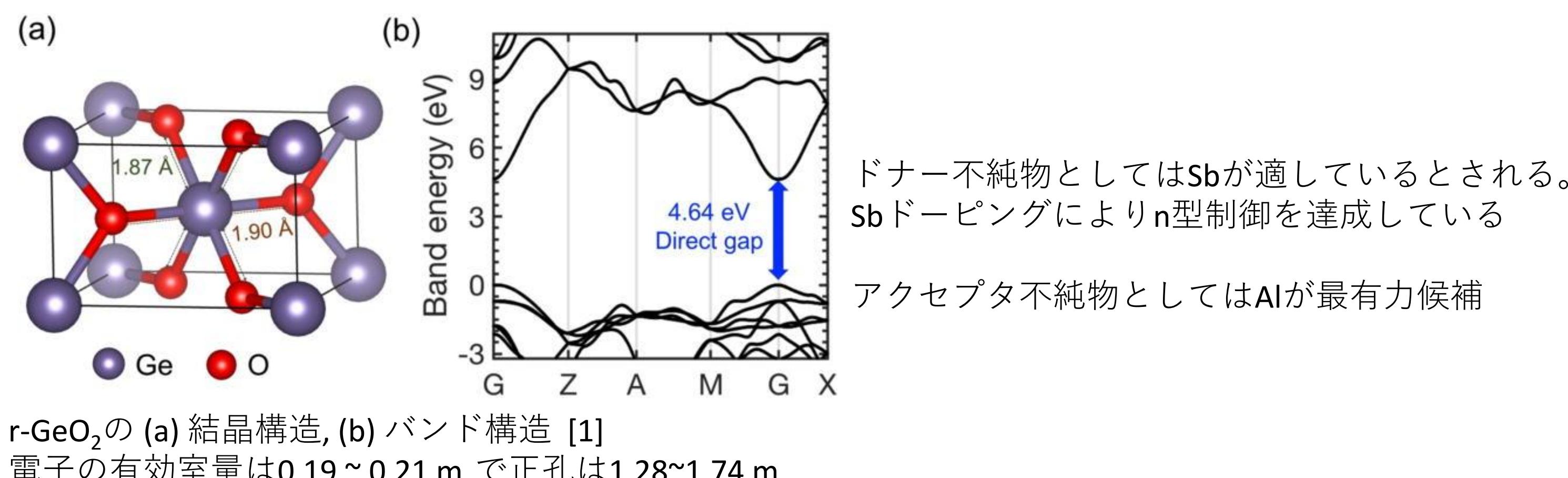
r-GeO₂半導体の社会実装に向けて、SiC市場の代替と新しい応用の開拓を目指しており、SiC市場の代替を目指してSi基板上のr-GeO₂ヘテロエピ基板を、新しい応用開拓を目指してハーフインチサイズのバルクr-GeO₂基板の開発を行っている。

パワー半導体：電力変換に使われる半導体

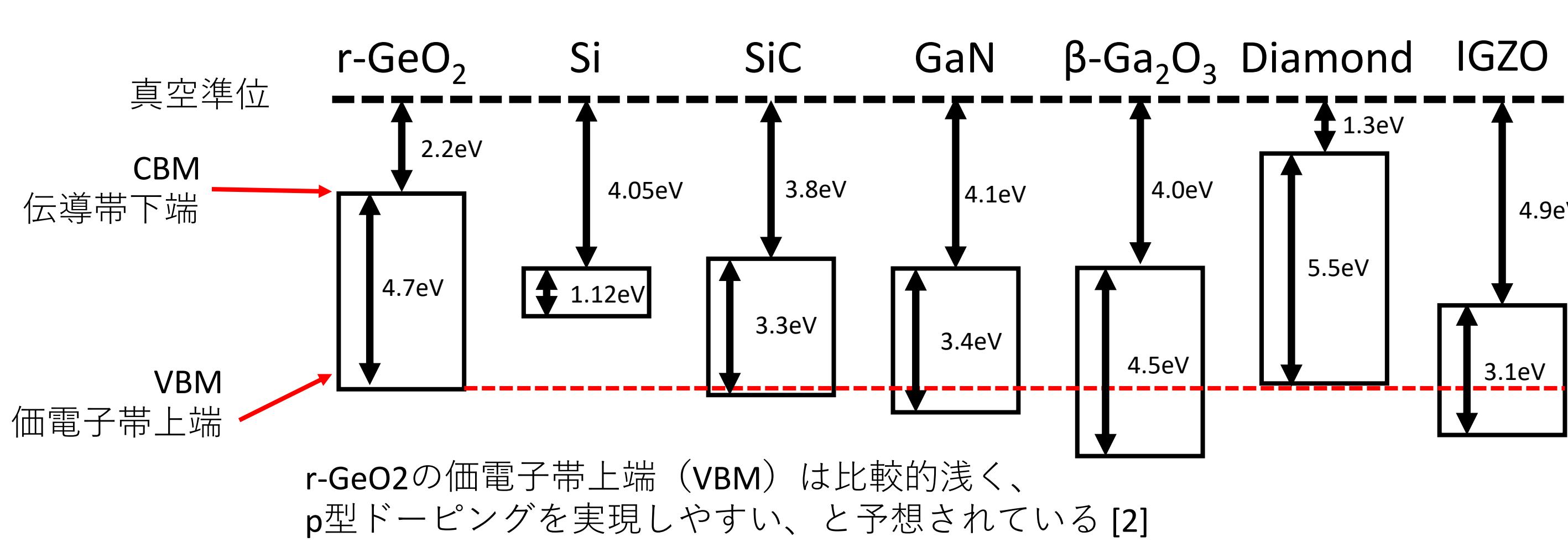
例) BEVのモータ駆動回路



ルチル構造二酸化ゲルマニウム (r-GeO₂)



r-GeO₂の(a)結晶構造、(b)バンド構造 [1]
電子の有効質量は0.19~0.21 m_eで正孔は1.28~1.74 m_e
※ β-Ga₂O₃中の正孔の有効質量は~40 m_e



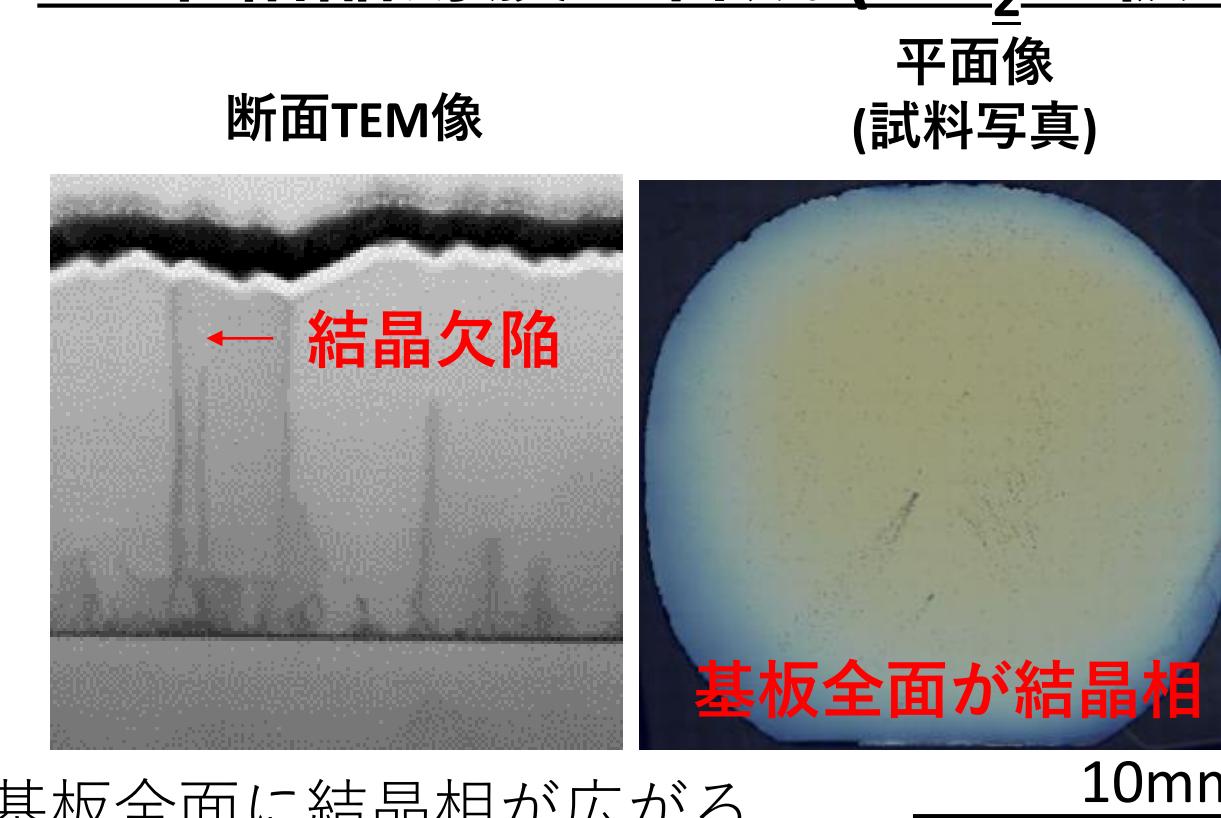
他のパワー半導体材料との比較

材料名	r-GeO ₂	Si	SiC	GaN	β-Ga ₂ 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 [cm ² /Vs]	377(n) 29(p)	1500	1000	1200	180~300 570(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 [W/cmK]	0.51	1.45	3.70	2.53	0.11~0.27	33.2
省エネ指数 (パリガ性能指数)	3400~4000	1	340	870	715~1900	24664
pn両伝導	○	○	○	○	×	×
pn型ドーピング	困难	困難	困難	困難	困難	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 (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/cm ²
加工性 ビックアース硬度	○ 1610 Hv(実測)[4]	○ 1050 Hv	×超硬 2500~3000 Hv	×硬い 1800~2000 Hv	×割れ易い	×超硬 7000HV

- ・パリガ性能指数はSiの3400~4000倍、SiCの10倍。
- ・基板コストはGeO₂ 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

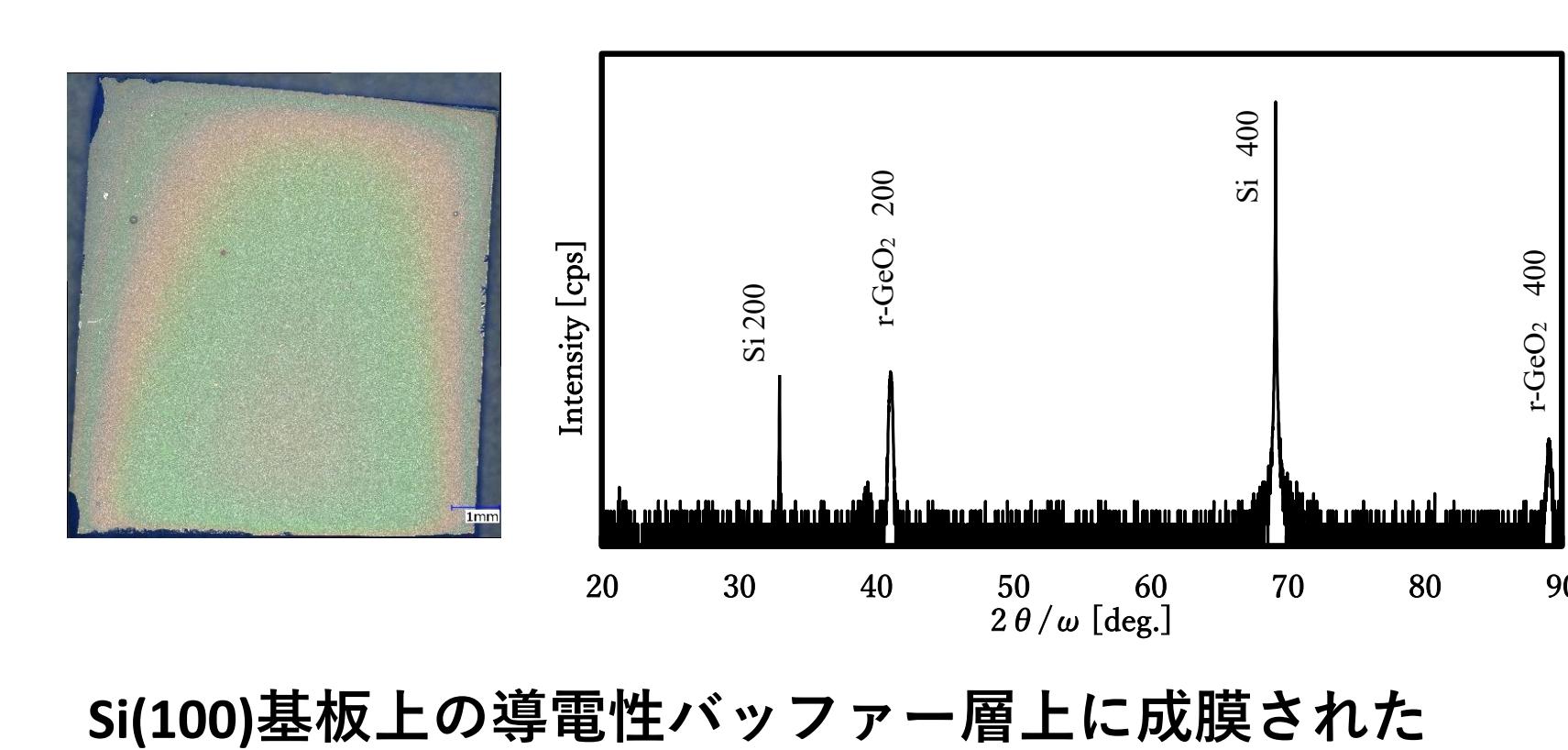
これまでの主な研究成果

○ 単結晶薄膜の合成 (TiO₂基板上)



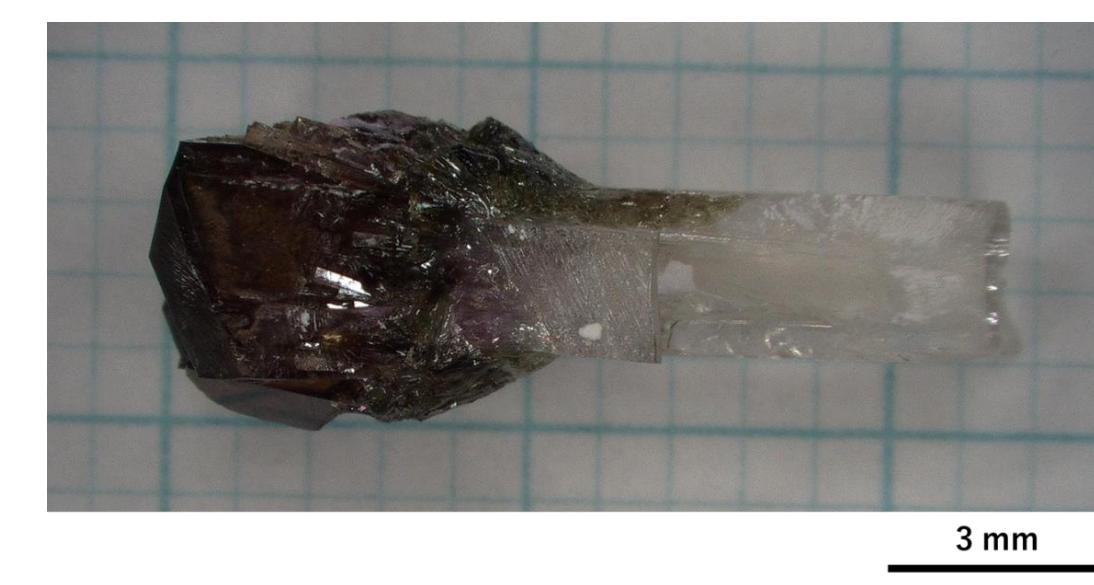
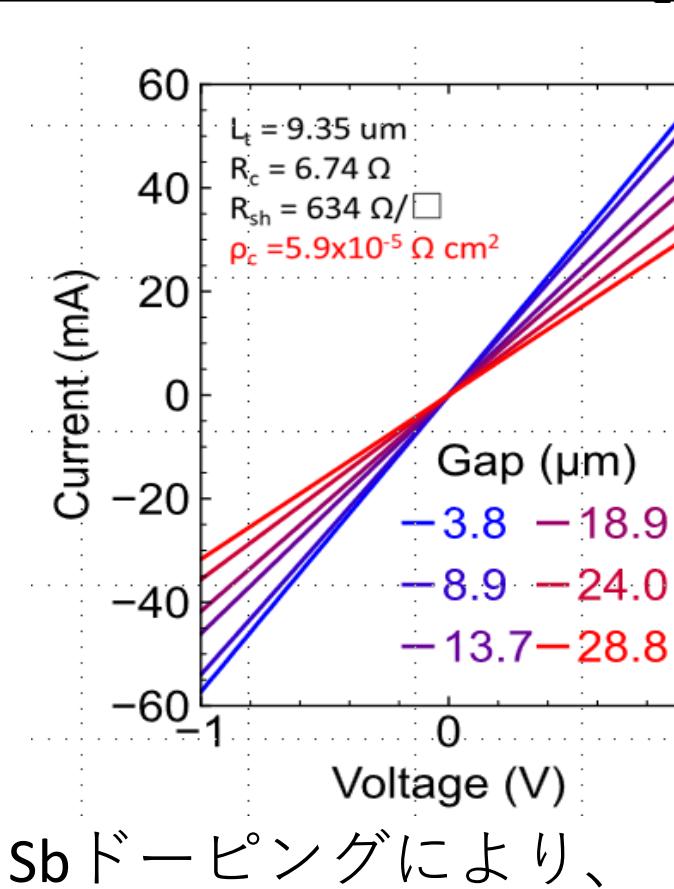
○ Si基板上のr-GeO₂結晶膜の成膜

※ GeO₂ on Si基板



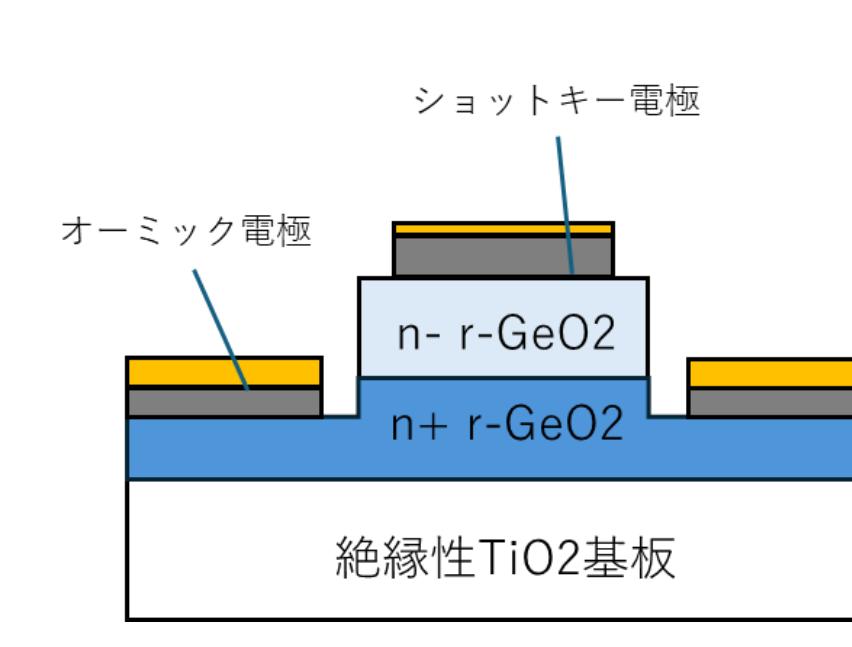
○ n型ドーピング [3]

○ バルク結晶の合成[4]と結晶育成

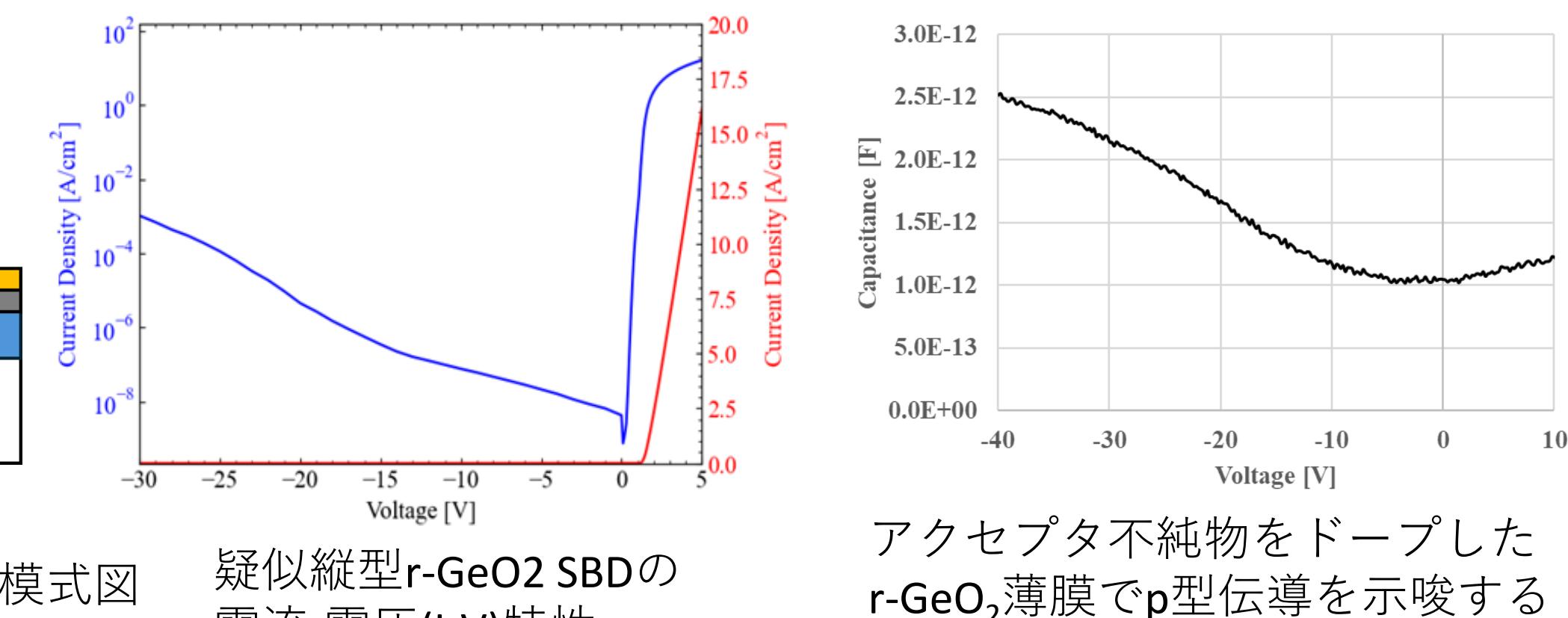


FZ法によりr-GeO₂バルク結晶の育成に成功

○ 世界初の疑似縦型SBD [5]



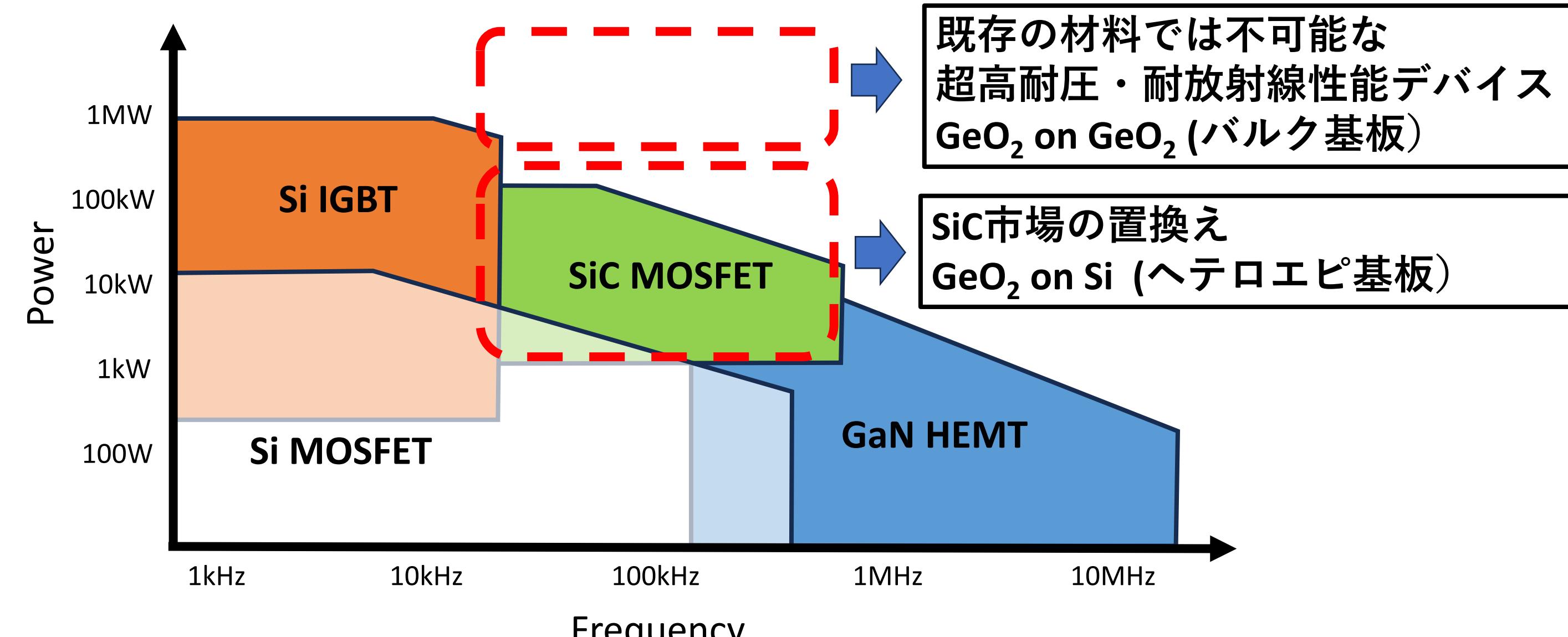
試作した疑似縦型SBDの断面模式図



アクセプタ不純物をドープしたr-GeO₂薄膜でp型伝導を示唆するC-V特性を確認

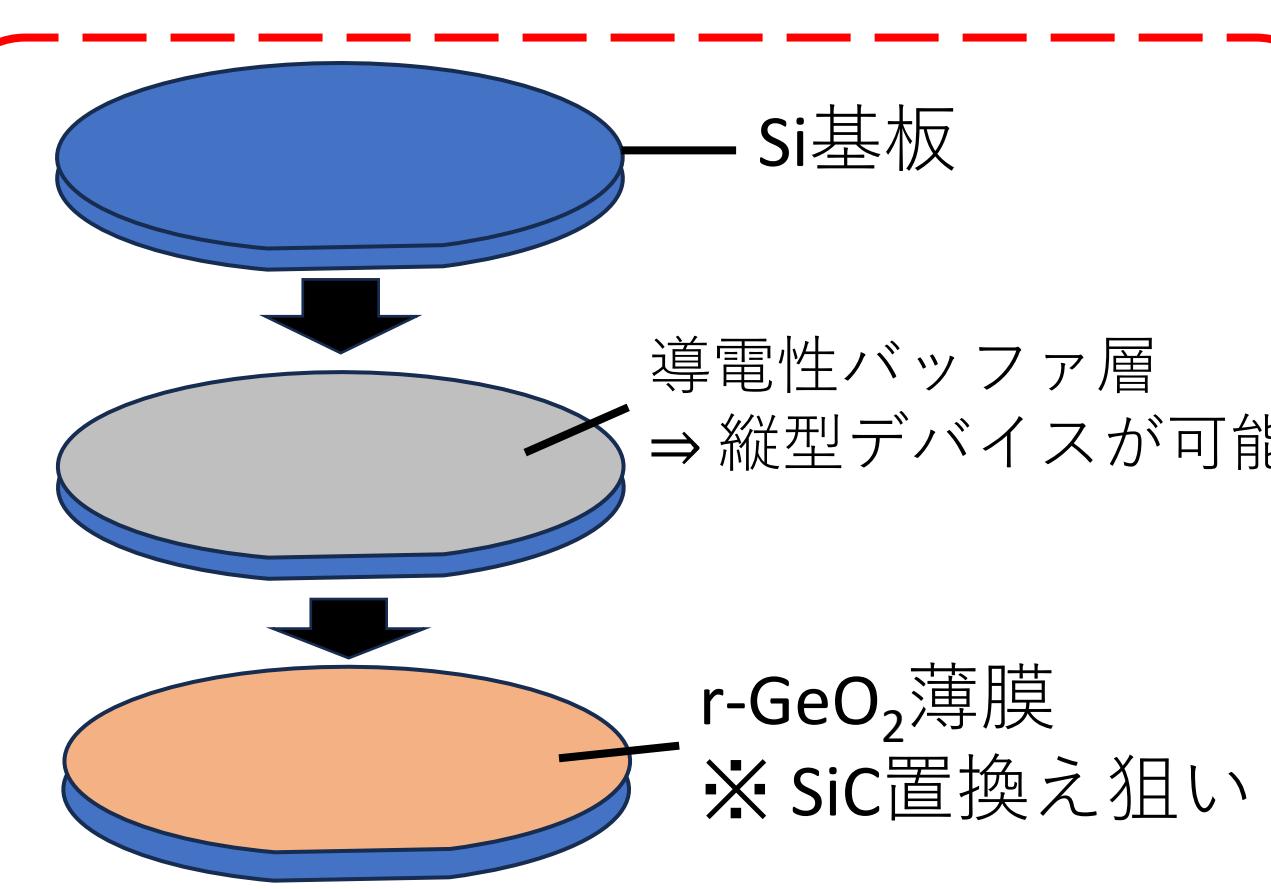
⇒ Hall効果測定等を検討中

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



ヘテロエピ基板
(GeO₂ on Si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

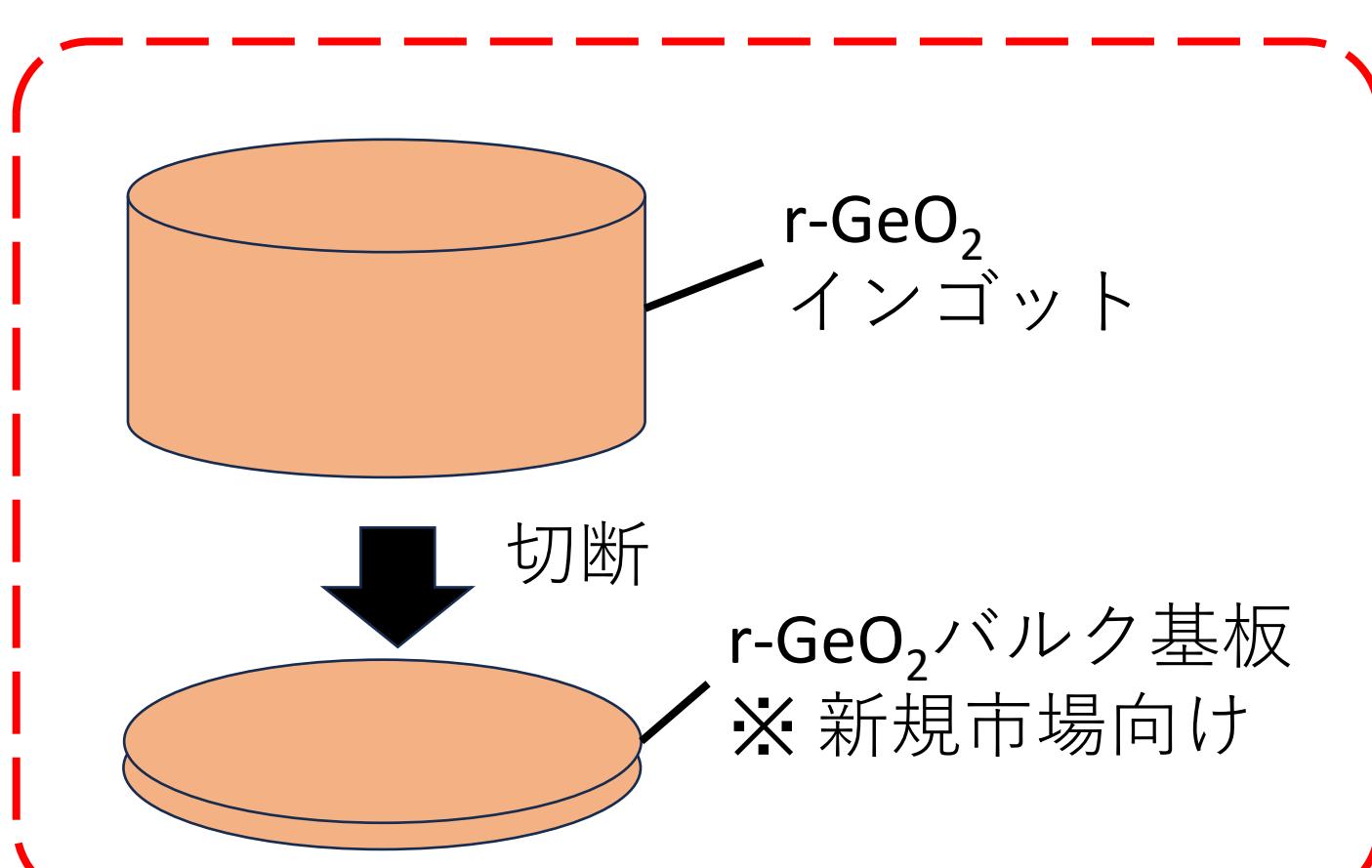
6インチ以上

既存のSi or SiCライン向け

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

○ バルク基板



バルク基板
(GeO₂ on GeO₂ 基板)

ターゲット市場

新しい応用・市場の開拓

超高耐圧・耐放射線

ハーフインチ (0.5インチ)

ミニマルファブ向け

- ・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

- S. Chae, et al., "Rutile GeO₂: An ultrawide-band-gap semiconductor with ambipolar doping," *Appl. Phys. Lett.* 114, 102104 (2019).
- C. A. Niedermeier, et al., "Shallow valence band of rutile GeO₂ and P-type doping," *J. Phys. Chem. C*, 124(47) (2020): pp. 25721-25728.
- 清水悠吏他、「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).
- 川西 健太郎 他, 「r-GeO₂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).
- 清水悠吏他, 「ルチル構造二酸化ゲルマニウム(r-GeO₂)のショットキーバリアダイオード特性」第72回応用物理学会春季学術講演会, 15a-K403-11 (2025).