

平成26年度アクションプラン特定施策の レビューおよび関連施策について (パワーエレクトロニクス領域)

2014年1月16日

文 部 科 学 省
(独)科学技術振興機構

アカデミア・サイドを中心としたパワーエレ研究の現状認識

現状認識

- 文部科学省やJSTでは、これまでも、次世代パワーエレクトロニクス創成を見据えた研究開発ファンディングを手がけている。
- しかしながら、新規ワイドギャップ半導体材料開発や革新的パワーデバイス検証等の研究開発が個別に進められている点は否めない(後頁・参考)。
- 次世代パワーエレクトロニクス創成から見た研究(アプリケーション、システム、回路設計等)が十分に取組みられていない、もしくは当該分野と材料・デバイス分野との連携が十分ではない。



今後の方向性(案)

- 関係府省の連携のもと、国レベルでの達成ビジョンや開発目標を定め、次世代パワーエレクトロニクスの出口から見た研究開発を強力に推進する必要がある。
- 出口サイド(車載、産業機械、送配電等)が求めるスペック等を基礎基盤的研究開発課題に翻訳し、システム - 回路設計 - デバイス - 素材 - 計測・計算等を重層的・材料横断的に繋ぐ研究開発に重点的に取り組む。
- 将来にわたってパワーエレ研究に取り組む研究開発人材の育成や、国の大型研究施設等との連携にも重点的に取り組む。

今後強化していくことが望まれる研究開発項目(例示)

ナノスケールの欠陥・界面の評価・制御技術の高度化等を通じた、 ワイドギャップ半導体の基礎物性の解明や新機能材料の創製

- 基礎物性の解明:
 - 究極的な欠陥完全制御結晶(欠陥エンジニアリング):無欠陥バルク基板、エピ成長(無欠陥・超高速・多層エピ)、ドーピング制御
 - 完全界面形成(MOS界面、半導体/半導体ヘテロ界面、金属/半導体界面、高移動度化)、酸化膜形成技術
 - デバイス信頼性の物理:高温・高電圧・高キャリア密度環境下、劣化特性の解明とモデル化、絶縁破壊機構
- 評価手法の開発
 - 欠陥や表面界面の物理解明
 - 実験と理論・シミュレーションとの相補的研究
- 新機能材料の創製
 - 酸化ガリウムやダイヤモンドなど、パワー材料としての検証が十分ではないもの等

高温動作可能な受動部品(コイル、コンデンサ等)の開発等、機能発現を最適化するデバイス・回路設計技術の創出

- 放熱用材料(セラミックス等)、絶縁封止材料(高分子等)
- 低損失軟磁性材料(ナノコンポジット材等)
- 表面放電特性の解明・制御等の周辺技術
- デバイスシミュレーション

パワー回路・機器のハイブリッド化や3次元アーキテクチャー化など、 飛躍的な機能の向上を実現する新原理・新構造パワーデバイスの創成

- Si上のハイブリッドデバイス、そのための要素技術(ヘテロ界面制御やパッケージの基礎基盤的研究)

パワーエレ全体の主な研究開発課題

パワーエレを使った新しいニーズ指向型研究

Si

- ・大口径ウェハ技術(核転換ドーピングなど)→低コスト化
- ・超接合(SJ)技術の高度化(ただし1kV以上は原理的に困難)

SiC

- ・ウェハの高品質化、低抵抗化
- ・エピタキシャル成長の高度化(高速、厚膜、多層エピなど)
- ・結晶欠陥の挙動解明と低減
- ・酸化膜/SiC界面の物性および構造解明と飛躍的な特性向上
- ・超高耐压デバイスの物理(絶縁破壊機構、伝導度変調効果など)

GaN

- ・バルク結晶成長法の確立
- ・エピタキシャル成長層の欠陥低減(ヘテロエピ、ホモエピ共に)
- ・劣化(電流コラプス)現象の解明とその抑制
- ・ノーマリオフ、縦型デバイスの実証(現状では横型デバイスが主流)

ダイヤモンド

- ・結晶成長法、デバイスプロセスの確立
- ・パワーデバイスの実証(優位性を見極め)

Ga₂O₃

- ・結晶成長法、デバイスプロセスの確立
- ・パワーデバイスの実証(優位性を見極め)

共通

信頼性評価手法の確立(高温、高電界)
実装技術の確立(高温、高電力密度、高周波)
デバイスから回路特性までの統合シミュレーション

システム化技術・信頼性技術

FIRST-SiC研究プロジェクト資料より(一部改変)

次世代パワーエレクトロニクス研究開発への総合的な取り組み

システム最適化・材料開発・物性評価や予測に根差した戦略的な研究
基板～エピ評価～デバイス～回路～システムまで

Si SiC GaN 新材料(ダイヤモンド 酸化物 化合物)

基礎基盤研究の推進
異分野・若手研究者の育成

高速
ドーピング・無欠陥・
結晶ウエハ成長

厚膜・ヘテロドーピン
エピ結晶

縦型・界面欠陥制御
オーミック・
デバイスプロセス

高耐圧・大電流・
シミュレーション
デバイス

ハイブリッド・三次元
回路設計
集積化

耐熱材料・キャパシタ
モジュール

システム化技術、信頼性技術

Siでの知見等を積極的に採り入れた材料相互の技術融合

産業界を中心とした
応用研究の深化・加速

大口径・高速
結晶ウエハ成長

耐熱・小型
モジュール

高速・平坦
ウエハ加工

超高耐圧・小型
システム

連携

共通基盤研究

計算科学、材料、物性、革新的デバイス物理、
材料評価、デバイス評価、先端評価解析技術
(ヘテロ界面、点欠陥、オーミックコンタクト、etc)

参考 パワエレに関連する取り組み(文部科学省関係) SiC

材料	項目	プログラム等	研究課題名等	研究代表者・研究実施機関名	開発目標等
SiC	単結晶育成	スーパー クラスター (2013)	信州型スーパーエネ ルギーデバイスクラス ター(結晶育成・加工 から臨むエネルギー・イ ノベーション)	長野県、(公財)長野 テクノ財団 1 サテライト	単結晶SiCとその製造 装置の開発等
	エピ膜成長	ALCA (2013~)	高品質SiC単結晶薄 膜の革新的低温・高 速成長技術の創製	松本祐司(東北大)	フラックス結晶成長 の触媒と気相原料供 給を用いた常圧液相 エピタキシー法の開 発による4H-SiC単 結晶薄膜
	界面	さきがけ (2011~14)	SiC-MOSFETの抵抗 損失低減のための界 面制御技術	喜多浩之(東京大)	SiC MOS界面欠陥密 度低減のプロセス開 発/界面反応・構造 解明
	材料・デバイス・回路・システム	スーパー クラスター (2013~)	クリーン・低環境負 荷社会を実現する高 効率エネルギー利用 システムの構築	京都府、京都市、(公 財)京都高度技術研 究所 2 コアクラスター	SiCパワーデバイスを 搭載した小型軽量の 電力変換回路・負荷 機器との接合

<備考> 研究成果展開事業(スーパークラスタープログラム) 2013年12月より 最長5年度

1 先進ナノツールによるエネルギー・イノベーション・クラスター

コアクラスター: 愛知県、名古屋市、公益財団法人 科学技術交流財団

サテライトクラスター: 長野県、(公財)長野テクノ財団/山口県、(地独)山口県産業技術センター/福井県、(公財)ふくい産業支援センター

2 クリーン・低環境負荷社会を実現する高効率エネルギー利用のシステムの構築

コアクラスター: 京都府、京都市、公益財団法人 京都高度技術研究所

サテライトクラスター: 長野県、(公財)長野県テクノ財団/滋賀県、滋賀県立大学/福井県、(公財)ふくい産業支援センター

参考 パワエレに関連する取り組み(文部科学省関係) GaN

材料	項目	プログラム等	研究課題名等	研究代表者・研究実施機関名	開発目標等
GaN	単結晶育成	JST ALCA (2012~)	省エネデバイス用8インチ超大口径GaNウエハ	森勇介(大阪大)	Naフラックス法を用いて、微小種結晶から「完全(無転位・無歪)GaN結晶」を育成
	単結晶育成	JST スーパークラスター (2013~)	やまぐち高効率パワーデバイス部材イノベーション・クラスター	山口県、(地独)山口県産業技術センター 1 サテライト	6-inch径のc面、あるいは無(半)極性面のGaN基板作製のための気相成長技術による低転位密度・大面積・反りを低減したGaN基板の開発
	デバイス	JST CREST (2009~14)	異種接合GaN横型トランジスタのインバータ展開	橋詰保(北海道大)	多重台形チャンネル型GaNトランジスタが閾値制御性、OFF特性制御、電流安定性において優れた動作特性を有することを検証。併せて、試作したGaNトランジスタをDC/ACインバータへ実装し、スイッチング特性や損失特性などの回路特性を評価。
	デバイス	JST スーパークラスター (2013~)	地産地消型スマートグリッドを実現する分散型で高効率なエネルギー開発と多様化された供給システムの構築	福井県、(公財)ふくい産業支援センター	GaN系パワーデバイスの開発・実用化の研究開発と次世代自動車やスマートグリッドへのシステム実装
	材料・デバイス・回路・システム	JST スーパークラスター (2013~)	先進ナノツールによるエネルギー・イノベーション・クラスター	愛知県、名古屋市、(公財)科学技術交流財団 1 コアクラスター	パワーデバイス(GaN/Siパワー半導体、InGaN系次世代半導体、AlIn/GaN系次世代半導体)・ナノマテリアル(蓄電池・燃料電池等および部材)・解析プラットフォームの構築

参考 パワエレに関連する取り組み(文部科学省関係) ダイヤモンド

材料	項目	プログラム等	研究課題名等	研究代表者・研究実施機関名	開発目標等
ダイヤモンド	界面	(物質・材料研究機構 運営費交付金プロジェクト)			接触抵抗低減に向けた金属/n型ダイヤモンド界面制御技術、ヘテロ界面技術の高度化(新規絶縁膜)
	デバイス	JST CREST (2011~16)	超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築	山崎聡(産総研)	低抵抗・高濃度ドーピング技術(リン濃度制御、ホッピング伝導の物理、グラフェンを使った接触抵抗低減)/新原理ダイヤモンドダイオードの開発
	デバイス	JST ALCA (2012~)	超高耐圧高効率小型真空パワースイッチ	竹内大輔(産総研)	電子放出源の素材にダイヤモンド半導体を採用した真空パワースイッチを開発、10kV電圧でパワースイッチとして機能することを確認。今後100kVレベルの高電圧に耐えられる真空パワースイッチを作製し、理論的に従来の1/10の大きさの大電力変換装置へ。
	デバイス	JST ALCA (2010~) 文科省低炭素ネット	ダイヤモンド基板によるグリーンインバータ基礎技術	川原田洋(早稲田大)	単結晶および大口径が得られる多結晶ダイヤモンドによる電界効果トランジスタを開発。インバータの低損失化により日本で年間1千万トン以上(年間排出量の約1%)のCO2削減が可能
	デバイス	JST CREST	(上記CREST・ALCAの一部分担)	波多野睦子(東京工業大)	高濃度のリン不純物を添加したn型ダイヤモンド半導体を選択的に形成する結晶成長技術を開発、n型/p型/n型を横方向に接合した接合型電界効果トランジスタの作製

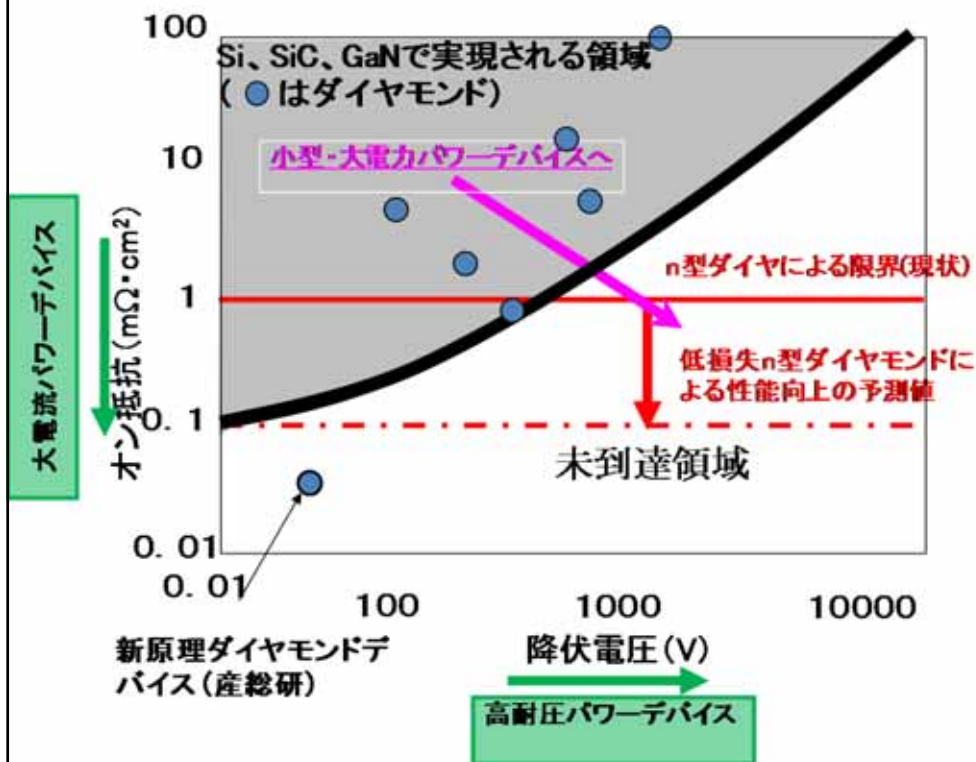
参考 パワエレに関連する取り組み(文部科学省関係) ダイヤモンド 周辺部材等

材料	項目	プログラム等	研究課題名等	研究代表者・研究実施機関名	開発目標等
ダイヤモンド	デバイス	文科省 GRENE 先進環境 材料分野	高効率電力変換用 パワーデバイス材料 開発とデバイスの実証	東京大、京都大、 物質・材料研究機構	低損失n型半導体ダイヤモンド合成 技術の確立、極限的高純度ダイヤモ ンド薄膜成長技術の確立
周辺部材	回路	JST スーパー クラスター (2013~)	分散型ロードレベル リング実現・実証に 向けた福井地域基 盤産業技術統合化 クラスター	福井県、(公財)ふくい 産業支援センター 1 サテライト	各種金属接合用ナノめっき技術開発 による高温作動・高効率・高信頼性 パワーデバイス制御回路に関する 研究
	放熱	JST スーパー クラスター (2013~)	信州型スーパーエ ネルギーデバイスク ラスター(スマートデ バイス材料およびス マートデバイスシス テムの実装)	長野県、(公財)長野 テクノ財団 1 サテライト	SiCパワーデバイスに関連する放熱 システムと関連絶縁複合材料、大電 流に耐える配線の信頼性向上に係 る材料に関する研究開発

参考 物質・材料研究機構(NIMS)における取り組み

ダイヤモンド

デバイス開発(産総研等)との連携



開発目標

SiCを大幅に凌駕する“超小型・大電力パワーデバイス”の実現

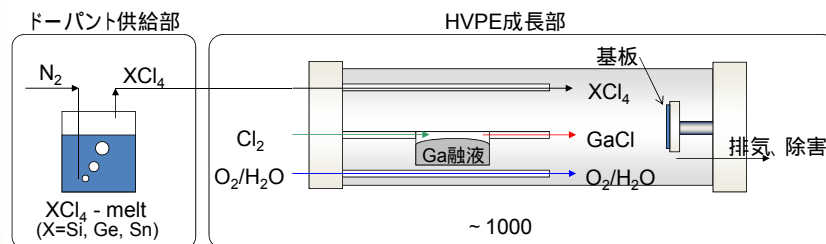
研究項目

低損失n型半導体ダイヤモンド合成技術確立
 極限的高純度ダイヤモンド薄膜成長技術確立
 金属や絶縁物との界面制御技術開発

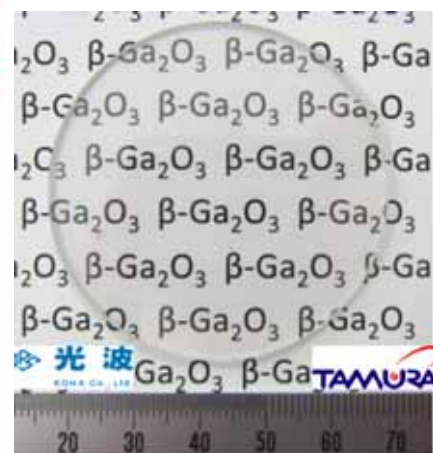
資料作成:NIMS

酸化ガリウム (Ga_2O_3)

デバイス開発・事業化(タムラ製作所/光波グループ)との連携



HVPE法の模式図



現在、試作品として販売している基板結晶

今後の課題

- ・大型化、特に6インチ化
- ・電子移動度の向上
- ・本格的なデバイス試験など

開発目標

低コスト化可能な融液成長による酸化ガリウムパワーデバイスの実現

研究項目

ハライド気相成長法(Halide Vapor Phase Epitaxy: HVPE)法による単結晶膜の高速・高品質エピタキシャル成長技術の開発