

## 連携機関

- 国立大学法人名古屋工業大学
- DOWAエレクトロニクス株式会社
- パナソニック株式会社
- 公益財団法人科学技術交流財団

## 功労者候補者

- 国立大学法人名古屋工業大学大学院工学研究科  
教授 江川孝志
- DOWAエレクトロニクス株式会社 代表取締役社長 大塚 晃

## 事例の概要

- 名古屋工業大学の江川教授はSi基板上のGa<sub>N</sub>層の結晶成長の研究に着手し要素技術を確認し、その後、化合物半導体に関する技術を有するDOWAエレクトロニクス(株)等を含めたコンソーシアムを形成し、コンカレントマネジメントによる開発体制により世界で初めて「省エネ用Si基板上Ga<sub>N</sub>系パワー半導体」の事業化に成功した。
- 従来のSiを用いたパワー半導体では高効率化・省エネ化には不向きであったが、歪超格子層などの新規な結晶成長技術を用いることでSi基板上に歪の少ない良質なGa<sub>N</sub>層を成長させることが可能となり、これにより高効率なGa<sub>N</sub>系パワー半導体の実用化に成功した。
- この技術により、開発された「Si基板上Ga<sub>N</sub>系パワー半導体」は現在では各国に販売されており、エネルギー変換効率の高いパワー半導体デバイス・モジュールの開発にも採用され、売り上げも着実に伸びている。
- さらに、この事業を契機として内外の多くの企業で電気自動車や情報家電への応用を目指した周辺機器の開発・製造も始まり、2020年での推定市場規模は約2000億円と新たな産業の創出にもつながった。

## ポイント

## 1. 連携の工夫・特長・波及効果

- ・江川教授の基礎研究成果を核として、装置-材料-デバイス-システムまでの一貫した共同研究体制(コンカレントマネジメント)を構築し、研究のスピードアップ化・効率化を図り、大学と企業が連携して短期間のうちに製品技術まで開発。

## 2. 社会(地域を含む)への貢献

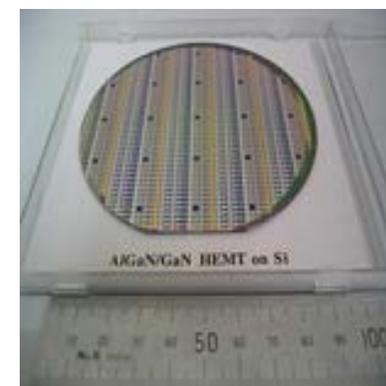
- ・省エネ用パワーデバイス半導体の製品化により、二酸化炭素排出削減を実現。
- ・第47回電気学会電気学術振興賞(進歩賞)、第3回小平記念賞、第20回レーザー研究業績賞「論文賞(解説部門)」、文部科学大臣表彰科学技術賞(科学技術振興部門)、日本結晶成長学会賞第17回技術賞、第38回井上春成賞を受賞。

## 3. 技術への貢献

- ・H19年に世界で初めてSi基板上の高品質Ga<sub>N</sub>層(GaN/Si)の結晶成長技術を確認、実用化。
- ・歪超格子層の新規導入により、大口径Si基板上への省エネ用AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>パワーデバイス用半導体が成長可能。

## 4. 市場への貢献

- ・DOWAエレクトロニクス(株)が「Si基板上のAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTエビ」を平成22年から販売開始。累計売上実績40.1億円。
- ・平成25年3月からパナソニック(株)がSi基板上のGa<sub>N</sub>パワーデバイスのサンプル出荷を開始。

Si基板上の省エネ用AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>パワーデバイスの写真

# 事例名：「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### 1. 連携の工夫・特長・波及効果

#### ➤ 連携の概要とその特長

- ・江川教授は、極微デバイス機能システム研究センターを立ち上げ、「コンカレントマネジメント」方式を用いて産学官の協力・連携を行ってきた。「コンカレントマネジメント」とは、装置、材料、デバイス、システムなどの関連技術分野の川上から川下までの多くの企業が集結し、基礎から応用、製品試作・評価を行う産学官連携体制を構築し、一体的に研究開発を進めるマネジメント手法である（一気通貫型の研究開発体制）。
- ・多方向にネットワークが形成され、いつでもどこでも問題解決に向けてのコミュニケーションが構築できるという体制であり、その結果、大学という共通のプラットフォーム（場）で、協働して研究開発を進めることで、きわめて効率的かつ迅速に研究開発成果をあげることが可能となった。

#### ➤ 知的財産管理を含めた研究の管理体制で、工夫していること

- ・文部科学省の「大学等産学官連携自立化促進プログラム（機能強化支援型）」における「知財ポートフォリオ形成モデルの構築」事業を名古屋大学、産業技術総合研究所と共同で受託し、本研究を含むナノテク・材料関係の知的財産の有効活用を進めており、大学が保有するナノテク・材料関係の特許に関するポートフォリオの構築と特許のパッケージ化を完成させ、技術移転企業が安心して事業化に取り組むことができる環境を整備した。

#### ➤ 人事交流等

- ・（財）科学技術交流財団主催の「窒化物半導体応用研究会」（座長：江川孝志教授）を定期的に開催することで、大学の研究者と企業の技術者との交流がさらに加速できた。
- ・スイス（ローザンヌ工科大学）、中国（科学院半導体研究所、中山大学）、インド（アナ大学）、シンガポール（南洋理工大学）等の海外の大学や研究機関等との共同研究を進め、外国人特別研究員（JSPS）を受け入れるなどの人材交流を図ってきた。

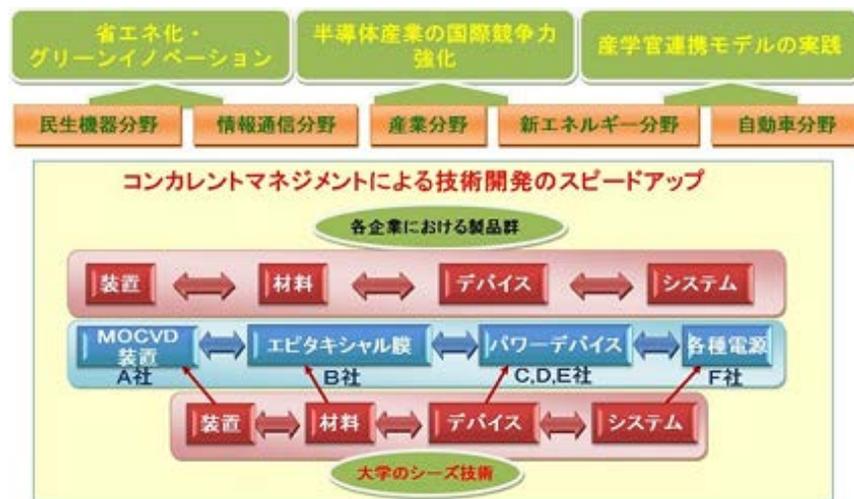
#### ➤ 連携体制によってもたらされたあるいは期待される具体的な効果

- ・本開発に用いた体制は、知的クラスター創成事業（Ⅰ、Ⅱ期）において実践され、大学の研究成果が関連企業の実用化・事業化に結びついたという実績を上げたことにより、高い評価を受けている。
- ・知的クラスター創成事業及びスーパークラスタープログラムでは、中核機関である（財）科学技術交流財団及び名古屋大学、山口大学、福井大学、信州大学、三重大学、豊橋技術科学大学、名城大学等の大学との緊密な連携を行っている。

#### ➤ その他、波及効果 など

- ・名古屋工業大学では、GaN/Si成長技術を核に、省エネルギー及び低炭素技術を開発し、窒化物半導体パワーデバイスの実用化・事業化を更に推進するために、「窒化物半導体マルチビジネス創生センター」を整備した（平成25年8月完成）。このセンターは、パワー半導体分野での国際競争力の強化及び国内半導体産業の再生を目的としており、経済産業省が実施するイノベーション拠点立地支援事業（「技術の橋渡し拠点」整備事業）において採択されたものである。
- ・GaN青色LEDの2014年ノーベル物理学賞受賞を契機に、東海圏での窒化物半導体の開発拠点の一つとして地域を越えた連携と開発加速が期待される。

### 「コンカレントマネジメント」による迅速な研究開発体制



# 事例名：「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### (候補者の主な役割)

#### ➤ 江川孝志氏：

◎大口径Si基板上に高温で成長させた中間層と歪超格子構造を積層させ、この上に原子レベルで制御された歪の少ない高品質のGaN系デバイス層を成長させるという独自の技術により、実用化レベルを達成した。

#### <従来技術の2つの課題と開発技術>

①SiとGaの反応によるピットが発生(メルトバックエッチング)し、結晶成長表面が劣化した。(図1(a))

②GaN/Siでは、SiとGaNの熱膨張係数が大きく異なるため、温度を約1000°Cの成長温度から室温に戻すとGaN層に熱歪による引っ張り応力が印加され、GaN/Si基板が大きく反ったり割れるためGaN層の厚膜化が困難であった。

・①の課題に対しては、高温で成長させたAlN中間層を用いてメルトバックエッチングを抑制することにより、表面状態が改善され鏡面が得られた。

・②の課題に対しては、歪超格子層を積層させるという新規技術を用いることにより、GaN層の引っ張り応力を歪超格子層による圧縮の格子歪で緩和した。(図1(b)) これにより、最も大きな課題であった歪応力が緩和され、GaN本来の特性を発揮させることが可能となり、高品質大口径GaN/Si基板を得た。

◎本技術により、従来のSi基板がSiとGaNの両者の特徴を兼ね備えた大面積・低コストの「GaN/Si基板」として生まれ変わり、その結果、従来のSi基板だけによるパワーデバイスの特性と比較して、小型化・高効率化・省エネルギー化の点において特性を大幅に改善できる。

#### ➤ DOWAエレクトロニクス(株)：

・江川教授が開発した「GaN/Si結晶成長技術」を元に省エネ用パワー半導体のシリコン基板上窒化ガリウムエピ基板を事業化した。

・本エピ基板は高耐圧と平坦性の両立に特徴があり、多くの電機メーカーのデバイス開発に用いられている。開発段階でユーザー所望のデバイス特性を実現できるエピ基板を開発したことにより、エピウエハの実用化の目処がつき、事業化することができた。(図2は窒化物半導体新工場の外観)

・販売面でGaN/Siパワーデバイスの実用化が近づくとともに国内外での販売も伸び、累積での出荷数量は10,350枚に達し、売上も40.1億円となり、新たな雇用も創出してきた。

・省エネ効果が期待できるGaN/Siによるパワー半導体は、今後、更に普及が見込まれる情報家電や産業用機器・電気自動車・新エネルギー分野などへ広く用いられることが期待されている。Yole Developmentの調査では、2020年には6インチ径換算で約100万枚/年のGaN/Siパワーデバイス用のエピ基板が必要になり、約2000億円の市場になると予測されている。

図1. Si基板上へのGaN成長法における従来技術と本技術の比較

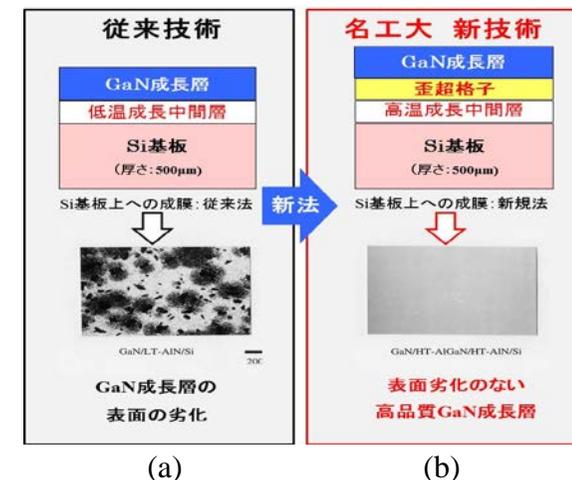


図2. 窒化物半導体の専用工場の新設(秋田県、2007年1月)



# 事例名：「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### 2. 社会(地域を含む)への貢献

- 電力エネルギーの有効利用による二酸化炭素の排出削減により、地球温暖化問題の解決、環境保全と持続的で安心できる社会を実現するための低炭素社会実現に向けた不可欠な技術。
- 省エネ：
  - ・日本の一次エネルギー消費量は石油換算で約4.7億トン/年、CO<sub>2</sub>発生量は13.5億トン/年であり(電気事業連合会<http://www.fepc.or.jp/>、NPO ローハスクラブ[http://www.carbonfree.jp/300/gh\\_3.html](http://www.carbonfree.jp/300/gh_3.html))、日本の一次エネルギーの43%(照明が7%、照明以外のパワーデバイスが36%)は電力として利用されているので、本技術はこれら電力の省エネルギー化に貢献できるものである。
  - ・例えば、本技術をエアコン・冷蔵庫・洗濯機・空調ファン・掃除機などの比較的電力消費量の少ない家電用インバータシステムへ応用した場合の省エネルギー効果としては、原油換算量で2015年に約9万kL/年、2020年に約28万kL/年、2030年に約48万kL/年の節約が期待できる。
  - ・本技術を用いた「GaN/Siパワーデバイス」は、従来のSiに比し、電力変換効率が向上し70~90%の省エネルギー化が図られる。各製品の省エネ効果は、2025年でCO<sub>2</sub>換算にして約5,329万トとなり、国内のCO<sub>2</sub>排出量約13億5,000万トの約4%減と大きなものになると予測される(「次世代省エネデバイス技術調査報告書」(平成20年3月、財団法人新機能素子研究開発協会)。
  - ・エネルギーの有効利用による省エネ、二酸化炭素の排出削減などの地球環境問題の解決及び低炭素社会構築のための重要な解決手法となる。
- 表彰：「Si基板上の半導体結晶成長」に対して、第47回電気学会電気学術振興賞(進歩賞)(平成3年度)、第3回小平記念賞(平成3年度)、第20回レーザー研究業績賞「論文賞(解説部門)」(平成8年度)、平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(科学技術振興部門)(平成22年度)、日本結晶成長学会賞第17回技術賞(平成22年度)、第38回井上春成賞(平成25年度)を受賞。
- 新聞記事掲載：「半導体産業新聞」(平成15年9月3日)、「日刊工業新聞」(平成17年11月17日25面)、「日刊工業新聞」(平成18年2月23日)、「電波新聞」(平成22年8月26日4面)、「秋田さきがけ」(平成22年2月6日4面)、「日本経済新聞」(平成23年7月28日37面)、「中日新聞」(平成23年7月28日27面)、「日本経済新聞」(平成23年12月21日39面)、「読売新聞」(平成23年12月21日13面)、「秋田さきがけ」(平成24年4月10日1面)、「毎日新聞」(平成25年9月21日7面)、「中日新聞」(平成25年9月21日21面)、「朝日新聞」(平成25年10月21日16面)。
- 雇用創出：技術移転を受けたDOWAエレクトロニクス(株)は、秋田県から助成を受け、2007年1月に窒化物専用工場を新設した。現在の全従業員数は329人(GaN/Siパワーデバイス従事者：26人を含む)、今度、更に雇用が拡大する見込みである。
- 国際貢献：中国科学院半導体研究所、中山大学(中国)などと大学間学術交流協定を締結した。更に、知的クラスター(I、II期)及び概算要求事項(連携融合事業)等により、ローザンヌ工科大学(スイス)、南洋理工大学(シンガポール)等と共同研究及び国際ワークショップを開催するとともに、ポスドク、留学生等を受け入れて国際レベルでの人的ネットワークを形成し、低炭素社会実現のための国際的枠組みを構築している。国際的に著名な学術誌であるIEEE Electron Device Lettersの編集委員を担当している。

# 事例名:「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### 3. 技術への貢献

#### ◎具体的説明

- 既存のシリコン(Si)半導体では性能的な限界があるため、Siに代わる電力変換効率の高い省エネルギー用の半導体材料の実用化が強く求められている。
- 江川教授は世界に先駆けて、大口径Si基板上に窒化物半導体を成長させる技術(AlGaN/GaN HEMTエピ)を開発し、技術移転した。
- この技術を用いると、従来のSi基板がSiとGaNの両者の特徴を兼ね備えた大面積・低コストの「GaN/Si基板」として生まれ変わり、その結果、従来のSi基板だけによるパワーデバイスの特性と比較して、小型化・高効率化・省エネルギー化の点において特性を大幅に改善できる。

◎現在の開発段階・状況(臨床試験等含む):8インチ径のSi基板上に同時に6枚の成長が可能となる量産化技術を開発中。

◎特許:「半導体基板及び半導体装置」(国内成立、特許第4670055号)、「半導体材料、半導体材料の製造方法及び半導体素子」(国内成立、特許第4592742号、米国特許;US 8,344,356B2)

#### ◎査読付論文等:

1. 1.4-kV Breakdown Voltage for AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> High-Electron-Mobility Transistors on Silicon Substrate, S. L. Selvaraj, A. Watanabe, A. Wakejima and T. Egawa, IEEE Electron Device Lett., Vol. 33, No. 10, pp. 1375-1377, 2012年10月(電子デバイスに関する著名な国際的な学会誌)
2. Heteroepitaxial growth and power electronics using AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT on Si, T. Egawa, 2012 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), 2012年12月(著名な国際会議での招待講演)

#### ◎基礎研究の革新的な応用等、学術的側面での特記事項

- 他の技術と比較すると、本技術はSiとGaNの間に高温で成長させた中間層及び歪超格子層を挿入し、格子歪を利用して熱歪を緩和させることで、応力のバランスを最適化することが可能となり、高品質の結晶の成長が可能となった。その結果、試作したデバイスでは、1400Vの高い3端子耐圧が得られている。
- 本技術を用いた「GaN/Siパワーデバイス」は、従来のSiに比し、電力変換効率が向上し70~90%の省エネルギー化が図られる。

### 4. 市場への貢献

#### ◎具体的説明

- DOWAエレクトロニクス(株)が「Si基板上のAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMTエピ」を平成22年から販売開始。
- DOWAエレクトロニクス(株)は、専用の窒化物半導体工場を新規に建設し、省エネルギー用の電子デバイス用のエピウェハとして、全世界の主要デバイスメーカー10社以上に納入。
- 売上実績:H22年度~H26年度(予定)の累計売上枚数および金額(10,350枚、40.1億円)(※詳細はP8に記載)
- 国内市場占有率:大きい(新製品のため正確な市場占有率の算出は難しい)
- ライセンス実施状況:
  - ・ライセンス先:DOWAエレクトロニクス(株)、H21年8月21日~H33年6月30日、33,094千円
  - ・その他のライセンス先:5社、総額154,250千円(※詳細はP8に記載)
- その他:
  - ・2013年3月からパナソニック(株)を含む複数のデバイスメーカーからSi基板上のGaNパワーデバイスのサンプル出荷が開始されている。
  - ・海外においてもGaN/Siを用いたパワーデバイスの研究開発が加速しており、今後、ワールドワイドでの市場の拡大が期待できる。例)AGATEプロジェクト(EU、10社参加、2014年から開始)、アメリカ(参加企業18社、ノースカロライナ州立大学にて2014年1月オバマ大統領演説)、A-Starプロジェクト(シンガポール)

# 事例名:「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### 5. 補足資料等(データ)

(主要なもの(成立(国内、海外)、出願(国内、海外))の特許名、特許文献番号、発明者、出願人)

#### <事例に係る特許等の件数>

特許出願(申請)件数		(件)	
国内	41	海外	40
特許取得(成立)件数			
国内	24	海外	20
ライセンス件数			
国内	5	海外	1

- ①(特許第4670055号)  
 名称:「半導体基板及び半導体装置」  
 発明者:伊藤統夫、江川孝志 出願人: DOWAエレクトロニクス株式会社、名古屋工業大学
- ②(特許第4592742号)  
 名称:「半導体材料、半導体材料の製造方法及び半導体素子」  
 発明者:坂本 陵、清水 成、伊藤統夫、江川孝志  
 出願人: DOWAエレクトロニクス株式会社、名古屋工業大学
- ③(特許第4677499号)  
 名称:「半導体材料、半導体材料の製造方法及び半導体素子」  
 発明者:生田哲也、清水成、柴田智彦 出願人: DOWAエレクトロニクス株式会社
- ④(PCT/JP2008/072911)(WO2009/084431)  
 2008年にPCT出願、2013年に指定国移行(米国)(米国登録 US8,344,356 B2)  
 名称:「半導体材料、半導体材料の製造方法及び半導体素子」  
 発明者:坂本 陵、清水 成、伊藤統夫、江川孝志  
 出願人: DOWAエレクトロニクス株式会社、名古屋工業大学

#### <事例に係る主な補助金・委託費の件数> 10件

年度	補助者・委託者(受託者ではない)について		採択課題名	交付金額 (単位:千円)
	配分機関名	事業名		
H23	経済産業省	先端技術実証・評価設備整備等事業 (技術の橋渡し拠点整備事業)	窒化物半導体マルチビジネス創生センターの整備	1,400,000
H15~H24	文部科学省	知的クラスター創成事業(第I及びII期)	高効率・パワーデバイス部材の開発	855,071
H20~H22	(独)新エネルギー・産業 技術総合開発機構	エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネ ルギー使用合理化技術実用化開発	インバータ高効率化のためのGaN双方向スイッチの研究 開発	63,471
H18~H21	(独)日本学術振興会	科学研究費補助金 (基盤B)	大口径Si基板上の四元混晶窒化ガリウム系発光・電子 デバイスに関する研究	18,850
H15~H18	(独)科学技術振興機構	科学技術振興調整費(先導的研究等の推進)	ヘテロエピタキシーと機能素子の先導的研究	404,000

# 事例名：「省エネ用Si基板上GaN系パワー半導体」の開発

## 具体的成果等

### 5. 補足資料等(データ)

＜事例に係る共同・受託研究の件数＞ 共同研究130件 / 受託研究12件(平成14年度～平成26年度分)

共同/受託研究	実施時期	共同研究/受託研究の参加機関 (自社含む)	内容	実施額 (千円)
共同研究	H17～H20	DOWAエレクトロニクス(株)	Si基板上AlGaIn/GaN HEMTの結晶成長に関する研究	42,400
共同研究	H25～H29	(財)科学技術交流財団	GaN/Siベース半導体の確立とその社会実装(スーパークラスタープログラム)	144,292

### ＜その他＞

1. 有機金属気相成長技術(大陽日酸)寄附研究部門

研究期間:平成13年12月1日～平成18年5月31日、研究総経費:112,500千円

2. 文部科学省平成20年度概算要求特別教育研究経費(政策課題対応経費)

研究課題名:地球温暖化問題解決のためのアジアにおける国際的枠組みの構築

研究経費:29,300千円

3. 文部科学省平成21年度概算要求特別教育研究経費(連携融合事業)

研究課題名:窒化ガリウムを用いた高効率半導体デバイスの先導的研究

研究経費:54,500千円

4. 文部科学省平成22年度概算要求特別教育研究経費(連携融合事業)

研究課題名:窒化ガリウムを用いた高効率半導体デバイスの先導的研究

—低炭素社会実現のための国際的枠組みの構築— 研究経費:54,500千円

5. 「窒化物半導体マルチビジネス創生センター」を整備し(写真参照:平成25年8月完成)、JSTスーパークラスタープログラム(H25年度～H29年度)にてテーマ1「GaN/Siベース半導体の確立とその社会実装」の研究リーダーを担当し、社会実装に向けた取り組みを実施している。

名古屋工業大学に新たに整備された  
「窒化物半導体マルチビジネス創生センター」

