

99-401

ワイドギャップⅢ族窒化物半導体の研究 Study of Wide Bandgap Group Ⅲ Nitride Semiconductors

名古屋大学名誉教授 赤崎 勇
名城大学理工学部教授 Isamu Akasaki

- 略 歴 昭和 4年1月30日生
- ◇ 27年 京都大学理学部卒業
 - ◇ 27年 神戸工業株式会社入社
 - ◇ 34年 名古屋大学工学部助手
 - ◇ 39年 ◇ 助教授
 - ◇ 39年 工学博士 (名古屋大学)
 - ◇ 39年 松下電器産業株式会社入社
 - ◇ 39年 ◇ 東京研究所基礎第4研究室長
 - ◇ 49年 松下技研株式会社半導体部長
 - ◇ 56年 名古屋大学工学部教授
- 平成 4年 名古屋大学工学部教授定年退官
(名古屋大学名誉教授)
- ◇ 4年 名城大学理工学部教授
 - ◇ 7~8年 北海道大学客員教授 (併任)
 - ◇ 8年 名城大学ハイテク・リサーチ・センタープロジェクトリーダー
- 受賞歴
- 平成 元年 日本結晶成長学会論文賞
 - ◇ 3年 中日文化賞
 - ◇ 6年 オプトエレクトロニクス会議特別賞
- 平成 6年 日本結晶成長学会創立20周年記念
技術貢献賞
 - ◇ 7年 化合物半導体国際シンポジウム賞
Heinrich Welker Gold Medal
 - ◇ 8年 IEEE/LEOS Engineering
Achievement Award
 - ◇ 9年 紫綬褒章
 - ◇ 10年 井上春成賞
 - ◇ 10年 Laudise Prize (結晶成長学会国際機構)
 - ◇ 10年 応用物理学会会誌賞
 - ◇ 10年 C&C Prize
 - ◇ 10年 IEEE Jack A.Morton Award
 - ◇ 10年 Rank Prize (UK)
 - ◇ 11年 IEEE Fellow
 - ◇ 11年 ECS Solid State Science &
Technology Award
 - ◇ 11年 Medal of Citizen of Honor of
Montpellier (France)
 - ◇ 11年 Honoris Causa Title (University
of Montpellier, France)

業績の概要

赤崎勇博士は、窒化ガリウム (GaN) 系半導体の (1) 新しい結晶成長技術の開発により、従来に比べて飛躍的に高品質の結晶の実現と、(2) 電気伝導性の制御 (p-n接合の実現)、にいずれも世界で初めて成功し、GaN系半導体による高性能青色/紫外発光ダイオードおよび半導体レーザーの実現の基礎を築いた。

青色から紫外域にわたる短波長半導体レーザーや発光ダイオードは、21世紀の高度情報化社会に必須の高密度記録、高速情報処理及び高精細画像表示に不可欠であり、多くの研究者がその実現に向けて努力を重ねてきた。

GaN系半導体は直接遷移型の広いバンドギャップのほか、種々の優れた物性を有し、上記素子の実現に有望な材料として1970年前後から世界中で研究されて

きた。

しかし、GaNは、融点が極めて高く、また物性の似通った基板が存在せず、そのため、世界中の多くの研究者のさまざまな努力にもかかわらず、従来は、表面の凹凸が激しく、クラックやピットの多い極めて劣悪な品質の結晶しか得られず、また、電気伝導の制御も不可能であったため、1970年代後半から1980年代前半には多くの研究者がこの分野から撤退していった。

赤崎勇博士は、この材料の高い潜在能力にはやくから着目、1974年、GaN単結晶のMBE成長に成功したのを皮切りに、多くの研究者が断念するなか、この困難な材料の開拓に絶え間なく挑戦し、次々にブレイクスルーを成し遂げた。

すなわち①1986年、格子不整合の極めて大きいサ

フィア基板上に低温で堆積したAlNパッファ層を導入するという新しい成長法を提案, この技術により, GaN結晶の品質を従来に比べ飛躍的に高めることに成功した(赤崎, 澤木: 特許1,708,208 (1992.11.11), 同: 米国特許4,855,249 (1989.8.8)。この低温堆積パッファ層の導入は画期的であり, これによって, 初めてGaNの半導体としての性質を発現させ, 発光素子や電子素子に応用することが可能となった。すなわち, 本技術は, GaN研究におけるそれまでの閉塞状態を打破したブレイクスルーである。

②赤崎勇博士と共同研究者の次のブレイクスルーは, p型伝導GaNおよびGaN系のp-n接合の実現である。不純物として, 従来, 主として用いられていたZnにかえてMgを選び, 上記高品質結晶へ制御性よく添加する方法を見出し, さらに, 電子線照射によりMgを活性化させ, p型伝導GaNおよびGaN p-n接合型青色発光ダイオードをいずれも世界で初めて実現した(1989年)。

③次に, ①の方法によると, 残留電子濃度が著しく減少するため高抵抗化するが, 1989年, 赤崎博士らは上記結晶中でSiがドナーとして機能することを見出し, パッファ層技術と組み合わせることによって高抵抗から低抵抗に至るまで, n型伝導度の制御を可能にした。これはp型伝導の実現とともに素子作製上極めて重要であり, 現在世界中で広く用いられている。

④また, 赤崎博士らは, ①, ②, ③等の基本的技術がAlGaInやGaInN混晶にも適用できることを示すとともに, ⑤1992年には効率が1%を越えるAlGaIn/GaN青色発光ダイオードを開発した。⑥青色半導体レーザーについても, 1990年に室温における紫外光誘導放出を, 1995年にGaIn/GaN量子井戸電流注入誘導放出をそれぞれ初めて観測し1996年にはGaIn/GaN単一量子井戸レーザーダイオードによる世界最短波長の紫外光レーザー発振に成功している。

⑦また, GaInN/GaN多層構造における量子サイズ効果(1991)やGaInN/GaN量子構造における量子とじ込めシュタルク効果(1997)を初めて観測した。最近(1998), 前記パッファ層技術をさらに発展させ, 多段パッファ層により結晶欠陥の飛躍的低減に成功する等, 学術上, 応用上重要な成果を次々に上げている。一方, 我が国の企業により青色発光ダイオードの商品化(1993), さらに青紫色半導体レーザーの室温連続発振や, 長寿命化等(1998)が達成された。これは勿論同社によるブレイクスルーと企業努力によるものであるが, 赤崎博士らによる①パッファ層技術の開発と②p型伝導の実現はその基礎になっているといえよう。

GaN系窒化物半導体は, 短波長発光素子のほか, 次世代エレクトロニクスに不可欠の高温・高速動作・大出力トランジスタにも有望であるが, それらの実現に

も上記①, ②および③は不可欠の技術である。

赤崎博士は, 自ら創設した窒化物半導体に関する国際会議をはじめ, 多くの会議を主催している。また, 各種国際会議などにおいて最近の5年間に招待講演を59回(うち20回はプレナリー)行っている。(被引用文献数および被引用特許件数も多い)。

このように, GaN系ワイドギャップ半導体による高性能青色発光ダイオードや短波長半導体レーザーの実現の基礎を与え, また, 今日最もホットな研究分野の源流としての赤崎勇博士の先見と業績は世界的に見ても一流のものであり, また日本で生まれたオリジナルな仕事の一つとして我が国のみならず国際的にも高く評価されている。

業績に関連する主要文献

- 1) I. Akasaki : Renaissance and progress in crystal growth of nitride semiconductors, *J. Crystal Growth* **198/199**, 885-893 (1999).
- 2) I. Akasaki and H. Amano : Crystal Growth and Conductivity Control of Group III Nitride Semiconductors and Their Application to Short Wavelength Light Emitters, *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 5393-5408 (1997).
- 3) 赤崎 勇 編著
“青色発光デバイスの魅力”
工業調査会, 1-2, 7-24 (1997).
- 4) I. Akasaki and H. Amano : “Lasers” Semiconductors and Semimetals, Academic Press, **50**, 459-471 (1998).
- 5) I. Akasaki, S. Sota, H. Sakai, T. Tanaka, M. Koike and H. Amano : Shortest wavelength semiconductor laser diode, *Electron Lett.* **32**, No. 12, 1105-1106 (1996).
- 6) I. Akasaki, H. Amano, S. Sota, H. Sakai, T. Tanaka, and M. Koike : Stimulated Emission by Current Injection from an AlGaIn/GaN/GaInN Quantum Well Device, *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, L1517-L1519 (1995).
- 7) H. Amano, M. Kito, K. Hirayama and I. Akasaki : P-Type Conduction in Mg-doped GaN Treated with Low-Energy Electron Beam Irradiation (LEEBI), *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**, L2112-L2114 (1989).
- 8) I. Akasaki, H. Amano, Y. Koide, K. Hirayama and N. Sawaki : Effects of AlN Buffer Layer on Crystallographic Structure and on Electrical and Optical Properties of GaN and Ga_{1-x}Al_xN (0 < x ≤ 0.4) Films Grown on Sapphire Substrate by MOVPE, *J. Crystal Growth*, **98**, 209-219 (1989).
- 9) H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki and Y. Toyoda : Metalorganic vapor phase epitaxial growth of a high quality GaN film using an AlN buffer layer, *Appl. Phys. Lett.* **48**, 353-355 (1986).