

報道機関 各位

東北大学 多元物質科学研究所

窒化ガリウムウェハの高速・高感度検査技術を確立 -分光技術を駆使した半導体の結晶欠陥計測-

【発表のポイント】

- 量産向け大型窒化ガリウムウェハの高速・高感度検査技術を確立
- 発光効率*1の絶対計測*2に基づく、欠陥分布の非破壊・非接触評価手法
- パワートランジスタや発光ダイオード、半導体レーザ、太陽電池など、様々な半導体デバイスの開発・製造に適用可能

【概要】

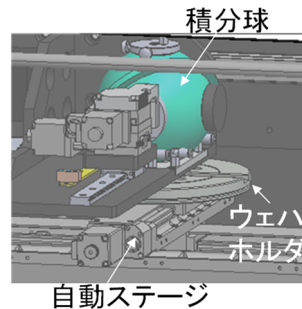
東北大学多元物質科学研究所 小島 一信 准教授、秩父 重英 教授は、浜松ホトニクス株式会社 池村 賢一郎 氏と協力し、分光技術*3に基づく新たな半導体ウェハの検査技術を開発しました。

持続可能な社会を実現するためには、限りあるエネルギー資源の高効率な利活用技術の開発が必要です。例えば、鉄道や電気自動車のような電力を強い動力に変換して利用する応用では、高耐圧かつ低損失にて電流の整流や電圧変換を行うダイオードやトランジスタといった電子デバイスが重要です。また、照明や通信、太陽光発電などの分野においては、電気エネルギーと光エネルギーとを相互に変換する発光ダイオード(LED)や半導体レーザ*4、太陽電池といった光デバイスの高効率化が不可欠です。これら半導体デバイスは、ウェハと呼ばれる結晶基板上に作られるため、デバイスの性能はウェハの構成材料となる結晶の品質に左右されると言っても過言ではありません。なかでも窒化ガリウム(GaN)は、高性能な電子デバイスや光デバイスの製造に適する材料の一つとして注目され、国内外における高品質GaNウェハの開発競争が激化している状況にあります。

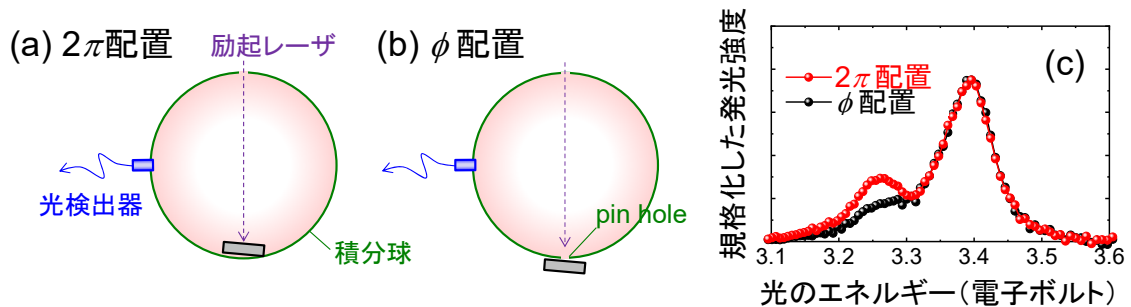
一方、半導体デバイスの普及には大型ウェハを用いた量産化が必要です。GaNの場合、直径6インチ(約152 mm)以上の円形状ウェハが望まれています。このような大型GaNウェハの品質管理には、ウェハ全面を高速かつ高感度にて検査ができる評価手法が必須です。小島准教授らは、半導体結晶の高精度な発光効率計測法(全方位フォトルミネセンス法)を応用することにより、積分球*5を核とする分光技術を駆使し

た、半導体ウェハの高速・高感度検査手法を確立しました。本研究は、従来手法にて制限があったウェハサイズの問題を解決し、検査時間を大幅に短縮します。

本研究の一部は、文科省の附置研究所間アライアンスおよび科研費若手研究(A)、挑戦的研究(萌芽)、新学術領域研究「特異構造の結晶科学」の助成を受けています。成果は応用物理学会と日本物理学会との協同内部組織である物理系学術誌刊行センター(PCPAP)の科学誌Applied Physics Express誌にて5月13日にオンライン公開され、Spotlights論文にも選定されました。



【参考画像1】新たに開発された半導体ウェハ検査装置の外観。



【参考画像2】(a)従来の全方位フォトルミネセンス法(2π配置)、(b)今回考案した実験配置(φ配置)、(c)2π配置とφ配置にてそれぞれ取得した結晶の発光スペクトル。

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学多元物質科学研究所

担当: 准教授 小島一信

教授 秩父重英

電話: 022-217-5363

E-mail: kkojima@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学多元物質科学研究所 広報情報室

電話: 022-217-5198

E-mail: press.tagen@grp.tohoku.ac.jp

【詳細な説明】

1. 背景

価値観の多様化や経済格差の鮮明化など、先を見通すことが困難になりつつある現代において、持続可能な社会を実現して安心・安全な生活環境を構築することは、多くの人々が願うところであると考えられます。このためには、限りあるエネルギー資源の高効率な利活用技術の開発が一つの方策と言えます。例えば、鉄道や電気自動車のような電力を強い動力に変換して利用する社会インフラ応用では、高耐圧かつ低損失にて電流の整流や電圧変換を行うダイオードやトランジスタといった電子デバイスが重要です。また、照明や通信、太陽光発電などの光応用分野においては、電気エネルギーを光エネルギーに変換するLEDや半導体レーザー、また逆に、光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池のような光デバイスの高効率化が不可欠です。

これらの半導体デバイスは、ウェハと呼ばれる結晶基板上に作られるため、デバイスの性能はウェハの構成材料となる結晶の品質に左右されると言っても過言ではありません。数ある半導体材料の中で窒化ガリウム(GaN)は、高性能な電子デバイスや光デバイスの製造に適する材料の一つとして注目されています。このため、高品質GaNウェハの開発競争が国内外において激化している状況にあります。

一方、上述した半導体デバイスを普及価格にて生産し、社会全体のエネルギー利用効率向上に寄与するためにはウェハを大型化して、一度にたくさんのデバイスを製造する量産化が有効です。具体的にGaNの場合は、直径6インチ(約152 mm)以上の円形状ウェハが望まれています。しかし、このような大型GaNウェハの品質管理には、ウェハの面積が大きいことから検査技術に時間がかかるため、検査の高速化が重要になります。また、GaN結晶の高品質化が進みつつある現在、結晶の対称性が損なわれるような構造欠陥(例えば貫通転位*6)が極めて抑制されつつあるにも関わらず、評価・検出の難しい欠陥種(例えば点欠陥*7)がごくわずかに存在し、その結果ウェハ品質が変動することが知られています。このため検査には、高速性だけでなく高感度性をも担保する技術が求められます。

そこで小島准教授らは、これまで培ってきた半導体結晶の高精度な発光効率計測法である全方位フォトルミネセンス(Omnidirectional photoluminescence: ODPL)*8法を応用することにより、積分球を核とする分光技術を駆使した、半導体ウェハの高速・高感度検査手法を確立しました。本研究は、従来の手法にて問題であったウェハサイズの制限を解決し、検査時間を大幅に短縮します。

2. 研究手法と成果

今回ウェハの構成材料として着目しているGaNは直接遷移型半導体*9と呼ばれ、外部から励起*10を受けると特有の光を放出します(例えば、GaNにInN*11を混ぜたInGaNは青色LEDの発光層に利用されています)。この時、結晶欠陥の少ない結晶ほど強く発光するため、発光量もしくは発光効率を指標とすることによって結晶の品質管理が可能となります。光計測は一般に瞬時かつ感度が高いという利点がありますが、

一方で計測者の技量によってその強度が簡単に揺らぐため、再現性に乏しいことが知られています。このため小島准教授らは、図2(a)に示す通り積分球と呼ばれる装置内に試料を配置して、結晶から放出された光を全方位に渡って集めることで発光量や効率を絶対測定する方法に着目し、評価技術の改善に取り組んできました(2 π 配置)。しかしこの方法では、積分球よりも大きな結晶の評価が難しいという問題がありました。

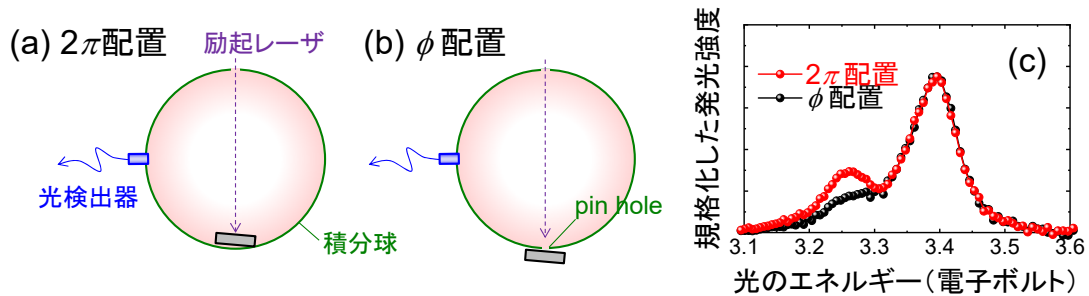


図2 (a) ODPL法(2 π 配置)、(b) ODPL法(ϕ 配置)、(c) 2 π 配置と ϕ 配置にてそれぞれ取得した発光スペクトルの比較。

そこで小島准教授らは、新しく図2(b)のような ϕ 配置と呼ばれる、積分球に空けたごく小さな穴(ピンホール)から試料の発光を測定する手法を考案しました。通常、積分球の外に結晶がある場合、すべての光を検出することができませんが、図2(c)に示す通り、ある光のエネルギー(この場合は3.31電子ボルト*12)よりも大きなエネルギー領域に限定すると、2 π 配置と ϕ 配置によって得られる光のスペクトルや強度がほぼ完全に一致することが見いだされました。3.31電子ボルトは結晶の基礎吸収端エネルギーと呼ばれ、このエネルギーより大きなエネルギーの光は結晶に完全に吸収される性質があります(結晶の厚みが十分大きな場合)。したがって、基礎吸収端エネルギーより大きなエネルギーの光は、結晶の上方向にしか放出されず、結晶が積分球の外にあっても、すべての光がピンホールを経由して積分球にて検出されるというものです。

ϕ 配置のODPL法は、従来手法の良い点を継承しつつ、試料の大きさへの制限がないため、例えばウェハを自動ステージにて少しずつ移動させ、ウェハ面内の各点において発光量や効率を計測することにより、欠陥濃度の大小関係を非破壊・非接触にてウェハ全面を検査することが可能です。本研究は、GaNウェハ上に作製されるパワートランジスタやLED、半導体レーザー、太陽電池など、様々な半導体デバイスの開発・製造を加速させるものです。

3. 今後の展望

本研究で開発した計測法は、直接遷移型半導体であれば無機材料だけでなく有機材料にも直ちに適用が可能です。また、結晶の温度調節なども自在に行うことができるため、例えば極低温下における結晶の基礎物性評価などにおいても威力を発揮するものと考えられます。

【論文情報】

タイトル: Quantification of the quantum efficiency of radiation of a freestanding GaN crystal placed outside an integrating sphere

著者名: Kazunobu Kojima, Kenichiro Ikemura, and Shigefusa F. Chichibu

雑誌名: Applied Physics Express

DOI: 10.7567/1882-0786/ab2165

【用語解説】

*1発光効率

対象となる発光材料に(本研究では励起レーザーによって)入力したエネルギーのうち、発光に利用される割合のこと。

*2絶対計測

標準試料との比較無しに、物理量を計測すること。

*3分光技術

計測対象となる光をその成分(波長もしくはエネルギー)ごとに分析する技術。

*4半導体レーザー

光通信やCD・DVDなどの光メディアの情報読み込み・書き込みなどに利用される、指向性の高いレーザー光を放出する半導体光デバイスのこと。

*5積分球

内壁が硫酸バリウムやスペクトラロンといった拡散反射率の極めて高い(つまり、真っ白な)材料にて覆われた球状の装置。硫酸バリウムは、胃のレントゲンで造影剤としても用いられる。

*6貫通転位

結晶を貫くように走る結晶欠陥の一種。貫通転位周辺では、結晶の周期性が乱され、一般的にデバイスの性能が低下する。

*7点欠陥

結晶を構成する原子が本来存在する位置に原子が存在せず空虚となっている欠陥。結晶の周期性は乱さないが、周囲の電気的なバランスが崩れており、結晶の特性を大きく変化させる欠陥。

*8全方位フォトルミネセンス(ODPL)法

図 2 にて示すような、積分球を使った分光法の一つ。基礎吸収端エネルギー以上の光の放出方向が決まっていることを利用し、結晶の発光効率を再現性良く測定できる。

*9直接遷移型半導体

光を強く放出し、かつ、基礎吸収端エネルギーよりも大きなエネルギーの光を強く吸収する性質を持つ半導体のこと。

*10 励起

対象となる材料を電気エネルギーや光エネルギーを用いて刺激し、活性な状態にすること。励起された直接遷移型半導体は、余剰なエネルギーを光として放出(発光現象)し、励起を受ける前の状態に戻ることが多い。

*11 InN

窒化インジウム略。

*12 電子ボルト

エネルギーの単位の一つ。電子 1 つを 1 V の電位差分だけ動かすのに必要なエネルギー。