

話題の技術

ナイトライド半導体ウェハの技術開発

立命館大学 総合理工学研究機構 教授 鈴木 彰氏

1. はじめに

GaNを中心としたナイトライド半導体の材料・デバイス開発フィーバー勃発の端緒となったのは、1993年11月30日付の業界紙に掲載された、日亜化学工業からの、明るさ100倍のGaN高輝度青色発光ダイオード開発であった。それから10年が経過した。当時同社の研究員であった中村氏(現・米国カリフォルニア大学教授)を先頭に、世界中の研究機関が、青色発光ダイオード、レーザの高性能化、実用化を急速に展開していったのは衆知の通りである。今では紫外光、白色光のデバイス開発が展開されているのに加えて、数GHzから数10GHz帯の次世代無線通信用ハイパワー高周波デバイスの研究開発も、日米で活発化している。



鈴木 彰氏

当時シャープ株式会社の研究所でSiCやZnSe系のワイドギャップ半導体の研究開発に取り組んでいた私にとって、1993年の業界紙ニュースに記載された青色発光ダイオードとしての完璧なまでのデバイス構造、特性に驚愕するとともに、ナイトライド半導体開発への急展開を余儀なくされた。以後、ナイトライド半導体の光デバイスの研究開発に取り組むとともに、昨年立命館大学へ移る3年ほど前から、ナイトライド半導体の高周波パワーデバイスに関する国家プロジェクト研究に取り組んでいる。

2. ナイトライド半導体ウェハ開発の経緯

ナイトライド半導体の急速な実用化は、材料面での技術開発に負うところが大きく、材料開発なくして、デバイスのブレークスルーはないという格言を顕著に示した例である。1993年の高輝度青色発光ダイオード実現は、当時名古屋大学の赤崎教授(現・名城大学)グループの長年にわたる結晶成長に関する研究の成果があっただけで実現したことは、良く知られている。GaN半導体は、Siや他の化合物半導体のように、Ga融液から大型単結晶を得ることは困難で、唯一、古くからポーランドの研究所で、1万気圧以上、1,000 以上

の超高压・高温でGa融液からバルク単結晶が作製されていたが、微小な結晶しかできず、未だ実用的な方法にはなっていない。デバイス構造を作製するには、それを作り込むための単結晶エピタキシャル膜を基板結晶上に成長する必要があり、結晶欠陥無く成長できる格子定数のあった単結晶基板が不可欠である。ところが上記のようにGaNの単結晶基板が入手できないため、異種材料の単結晶基板を用いざるを得ないが、GaNと格子定数のあった適当な基板がなかった。

そこで赤崎教授らは、GaNとは大きな格子定数差(約16%)があるが、大型良質単結晶ウェハが市販され、高温でも安定なサファイア基板を用いて、低温初期成長層を導入することにより、MOCVD法で表面平坦で良質なエピタキシャル膜の成長に成功し、上記の青色発光ダイオードの展開につながっていった。ついで、高価で比較的小型のウェハしか市販されていないが、やはり高温でも安定でGaNとの格子定数差が比較的小さい(約5%)SiC基板を用いてもエピタキシャル成長膜が得られ、発光ダイオードが実用化されていった。これらの基板では、GaNとの格子定数差のため、エピタキシャル膜には 10^9 cm^{-2} 台の転位欠陥が導入されたが、GaN系発光ダイオードは多数の欠陥にもかかわらず、発光効率が高く長寿命だったため、一挙に実用化が進んだ。しかしながら、半導体チップ内で電流と光束がはるかに集中する青色レーザの実用化のためには、転位欠陥の大幅な低減が不可欠であったが、日本電気の碓井氏(現・古河機械金属)らが、1997年に発表した選択横方向成長(ELO)法の開発およびその後の展開で 10^6 cm^{-2} 台にまで低減し、レーザの長寿命化がなされてきた。この方法は、サファイアやSiCの基板上に選択的に10 μm 程度の線幅で絶縁膜マスクを形成したり、基板表面を選択的にエッチング加工した後にエピタキシャル成長を行い、基板の選択された場所が低欠陥になる手法である。

その他、最近では、格子定数差は大きいSiや、高品質大型基板の市販にまでは至っていないが極めて格子定数の近い ZrB_2 を基板にした研究開発も進められている。

3. 最近の話題の技術開発

近年においては、青色レーザの高性能・長寿命化、高周波電子デバイスの開発に、エピタキシャル膜と格子定数も熱膨張係数も一致して、ウェハ全面に渡って欠陥の発生が少なく、ウェハの反りの問題も生じない、GaNやAlNのバルク単結晶基板の必要性が唱えられ、様々な方法が試みられている。ここでバルク成長の3種の取り組み(AINの昇華成長、GaNの厚膜HVPE成長、

GaNの液相成長)を紹介する。

AlNの昇華法によるバルク結晶成長は、黒鉛坩堝の中に、原料のAlN粉末等と適当な基板結晶を配置し、減圧雰囲気中で約2,000 の高温でAlN粉末を昇華させ、基板上に単結晶として析出させる方法である。この方法は、現在市販されているSiC単結晶ウェハと基本的に同じ方法であり、米国のベンチャー企業ではインチ大の単結晶ウェハ開発の報告もある。結晶品質等の改善はこれからであるが、AlNは熱伝導率が高く、絶縁性であるため、高周波パワーデバイス用基板として将来が期待されている。

HVPE法によるGaNのバルク成長については、最近、住友電工の元木氏がユニークな方法を開発し注目されている。基板としてGaAsを用い、基板上にあらかじめ形成したSiO₂膜に2 μm径程度の円形開口部を規則正しく多数あけGaAs基板表面を露出する。この基板上に

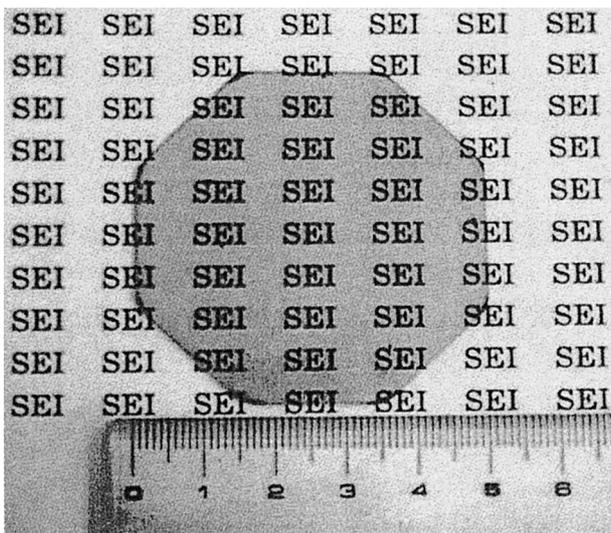


図1 HVPE成長法によるGaNバルク単結晶ウェハ(文献1より)

HVPE法でGaN単結晶膜を成長すると、各開口部から横方向に成長した結晶の合体部に転位欠陥が集束し、広い領域で 10^5 cm^{-2} に低減される。数100 μmの厚さに成長した後、GaAs基板を化学エッチングで除去し、GaNのバルク単結晶ウェハが得られる。既に2インチ径ウェハが製作され、青色レーザー製作用に試験供給され、長寿命特性を含めて良好なデバイス特性が得られている(図1)。

液相からのGaNバルク単結晶の成長は、冒頭に記したように、Ga融液だけを用いては困難であるが、最近、大阪大学の佐々木教授・森助教授のグループでは、溶媒としてNa及びCaを加えることでGaNの溶解度を飛躍的に向上させ、50気圧程度の窒素中で約800 の成長温度で、GaN単結晶膜のエピタキシャル成長に成功している。基板はMOCVD成長でサファイア上に成長したGaN膜を用いた。実験は1 cm角程度の基板を用いたが基板全面に数100 μmの厚さの良好なエピタキシャル膜が得られており、装置の大型化で大口径化が十分に期待できる成果である。エピタキシャル膜は高品質で、転位欠陥は 10^5 cm^{-2} 以下であり、フォトルミネセンスでも、極めて明るい発光が報告されている。これからの技術開発が期待される(図2)。

4. おわりに

ナイトライド半導体ウェハの開発状況、最近の話題の技術開発を駆け足で述べてきた。ナイトライド半導体は、短波長発光デバイス、高周波パワーデバイス用として新世紀の半導体材料として脚光を浴びているが、ナイトライド基板ウェハは、サファイアやSiC基板上的エピタキシャルウェハを販売するメーカーが、ようやく国内にも現れてきたところである。しかし価格は未だ高価で供給体制も十分でない。ましてや、後半で紹介したような、低欠陥の大型ウェハの供給はようやく新技術の開発が進められているところである。ナイトライド半導体の将来性を考えると、安価な低欠陥大型基板ウェハの技術開発・製品化が急がれる。

文献

- 1) K. Motoki *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 40, p. L140 (2001).
- 2) F. Kawamura *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, p. L1440 (2002).

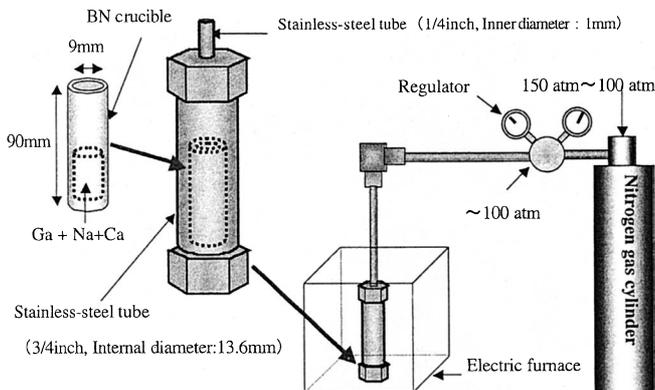


図2 液相成長によるGaNバルク単結晶の成長(文献2より)