

平成19年2月9日

報道関係者 各位

東北大学多元物質科学研究所

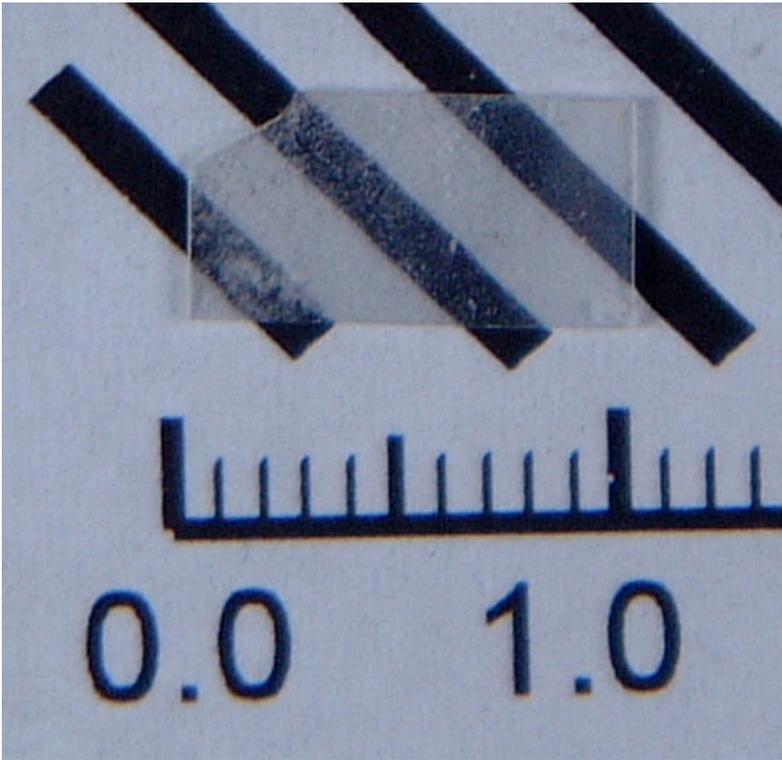
ソルボサーマル法により高品質窒化ガリウム基板結晶作製に成功
大型窒化ガリウム結晶量産への道を拓く
(窒化ガリウムデバイス高性能化に有利な非極性、半極性結晶製造を可能に Na フラックス法種結晶高品質化により無転位可も可能)

東北大学多元物質科学研究所 齋藤文良教授の研究グループと三菱化学(株)は、次世代半導体として注目される窒化ガリウム単結晶を、従来困難とされていたアモノサーマル法により製造する技術を開発したので、報道発表する。

窒化ガリウムは従来の半導体よりも高速な動作、耐熱性など優れた特性を有しており、次世代高速通信、自動車向け半導体への応用が期待されている。窒化ガリウム単結晶基板は窒化物半導体素子を形成するためのカギとなるが、今回開発したアモノサーマル法は平衡状態下での結晶成長であるため低歪みで高品質な窒化ガリウム単結晶基板が実現可能である。

(概要説明)

1. 超臨界アンモニア条件下での耐食性に優れた圧力容器開発に成功。2 インチφ以上の結晶大型化も可能となる。
2. 窒化ガリウムの超臨界アンモニア中への溶解挙動の制御を実現。水熱合成法で実績のある水晶の溶解挙動に近い条件を見出した。量産可能な温度圧力条件下での結晶成長が可能。
3. 鉍化剤及び成長条件の最適化により種結晶の品質と同程度の高品質窒化ガリウム単結晶作製に成功した。
4. 実用化への取り組みとして、連携するソルボサーマル結晶成長技術研究組合の協力により、実証プラントによる2インチ結晶の製造をスタート。同時に Na フラックス法による種結晶の高品質化との組み合わせにより大型無転位結晶を目指す。
5. 窒化ガリウムの熱伝導率はこれまで炭化珪素よりも大幅に劣り 25%程度とされていたが、本プロジェクト研究により 75%にも達することが見出された。これにより、発光素子にとどまらず、高温動作が要求されるハイパワーデバイス応用も視野に入れて、多元物質科学研究所では、「窒化物ナノエレクトロニクス材料研究センター(仮)」を設置し結晶の高品質化、ドーピング技術、非極性・半極性結晶の開発からデバイス応用まで窒化物材料研究拠点を形成する計画である。
6. 本プロジェクトにより出願・出願予定特許数は、国内9件、国外1件である。
7. 本内容については、2006年10月に京都で行われた窒化物半導体国際ワークショップ(IWN-2006)において招待講演で一部発表した。詳細については2007年4月、11月に行われる米国材料学会(MRS)にて発表予定である。



(用語解説)

◆ 窒化ガリウム(GaN)

青色発光ダイオードの材料として用いられる半導体。青色レーザとしても実用化されている。GaN は他の半導体と比べ、熱伝導率が高いことや飽和電子速度が速いことなどから発光デバイスだけでなく、電子デバイスとしての応用も期待されており、これらデバイスを製造するための基板として4インチを超える大型 GaN 結晶が望まれる。

◆ ソルボサーマル法

結晶作製法の1つ。通常の温度・圧力では溶解しない溶質について、高温・高圧の超臨界流体中に溶解し、結晶を再結晶させる方法。使用する溶媒によって hidroサーマル(水)法やアモノサーマル(アンモニア)法などと呼ばれる。

◆ 超臨界流体

気体と液体が共存できる限界の温度・圧力(臨界点)を超えた状態にあり、通常の気体、液体とは異なる性質を示す流体。気体に近いエネルギーを持ち、液体と同程度の密度を持つため反応性に優れている。僅かな温度差により密度が大きく変化するため、溶解力の制御を容易に行うことが出来る。

◆ X線ロックンクカーブ

X線を用いた結晶評価方法。検出器を固定し、X線と試料のなす角を回転して測定する。結晶性が良い試料では回折ピークがシャープになるが、結晶性の悪い試料ではブロードになる。ピークの広がり半値幅(ピーク強度が1/2の時の幅)で表され、半値幅が小さいほど結晶性の良い結晶と言える。

◆ 非極性、半極性結晶

GaNはc軸方向に一軸異方性を有することから、c面にデバイスを形成した場合、格子定数の差など僅かな歪によりピエゾ電界が発生する。ピエゾ電界は発光素子の発光効率低下と波長シフトの原因となる。ピエゾ電界はc軸方向に沿って発生するので、デバイス層の成長軸をc軸方向から傾いた方向に設定すれば、成長軸方向へ及ぼすピエゾ電界の影響を弱められ、外部量子効率の向上につながる。そこで、GaN結晶のc面に垂直なa面やm面と呼ばれる非極性

面,あるいはc面に対して傾いた半極性面と呼ばれる面を成長面とし,それぞれの面の法線方向を成長軸とLEDを作る研究が盛んになりつつある。しかしながらc軸以外の結晶面へのエピタキシャル成長は容易ではない。ソルボサーマル法は溶液中での結晶成長であるため,全方位に対して結晶作製が可能であり,非極性,半極性GaNバルク結晶量産が可能である。

(お問い合わせ先)

東北大学多元物質科学研究所

担当者1 : 所長 教授 齋藤文良

saito@tagen.tohoku.ac.jp

Tel:(022)217-5200, Fax:(022)217-5596

担当者2 : 広報委員長 教授 村松淳司

mura@tagen.tohoku.ac.jp

Tel :(022)217-5163

(添付資料)

内容詳細

東北大学と三菱化学の研究グループは、次世代半導体として注目される窒化ガリウム単結晶をアモノサーマル法により製造する技術を開発した。超臨界アンモニアを利用するという技術的困難さから実用化は難しいとされていたが、耐食性に優れた圧力容器の開発と超臨界アンモニア中への窒化ガリウムの溶解挙動の解明により制御可能な温度圧力条件下での結晶成長に成功した。窒化ガリウムは従来の半導体よりも高速な動作、耐熱性など優れた特性を有しており、次世代高速通信、自動車向け半導体への応用が期待されている。窒化ガリウム単結晶基板は窒化物半導体素子を形成するためのカギとなるが、従来の気相法により製造された窒化ガリウム基板では残留歪みやコストの問題から利用範囲が限定されていた。今回開発したアモノサーマル法は平衡状態下での結晶成長であるため低歪みで高品質な窒化ガリウム単結晶基板が実現可能である。実用化への取り組みとしては東北大と連携するソルボサーマル結晶成長技術研究組合がアモノサーマル用大型圧力容器を開発し2インチサイズ窒化ガリウム製造に目処をつけた。5年以内の実用化を目指す。

東北大学多元物質科学研究所の斎藤文良所長らの研究グループは三菱化学(株)との共同研究により世界で初めてアモノサーマル法による窒化ガリウム単結晶製造技術の開発に成功した。窒化ガリウムは青色発光ダイオードの材料として広く用いられているが、従来の半導体よりも高速な動作、耐熱性など優れた特性を有しており、次世代高速通信、自動車向け半導体への応用が期待されている。発光ダイオードは素子形成用基板として一般にサファイア基板が使用されているが、より低欠陥密度が要求される電子デバイス用途では同種基板上への素子形成が必要となるため、窒化ガリウム単結晶基板が素子を形成するためのカギとなる。従来の気相法により製造された窒化ガリウム基板では残留歪みやコストの問題から応用が限定されてた。今回開発した技術により大型高品質窒化ガリウム単結晶基板への可能性が見えてきたといえる。大型単結晶が実現されれば様々な結晶方位の基板の切り出しが可能となり、m面など非極性基板の作製も容易になることから、より高性能な窒化ガリウム素子の実現が期待される。

アモノサーマル法は圧電振動子として広く使用されている水晶の製造法である水熱法を基礎とし水をアンモニアに置き換えたものである。高温高压の超臨界アンモニア中での反応を利用し結晶化させる技術であるが、技術的に困難であり実用化は難しいと見られていた。東北大では超臨界アンモニアと窒化ガリウムの溶解量を増加させるための鉍化剤の最適化を進めた結果、超臨界アンモニア中への窒化ガリウムの溶解挙動が水熱法で実績のある水晶の溶解挙動に近い条件を見出した。この結果に基づき結晶成長を行なった結果、500℃、1500気圧での単結晶成長を確認した。鉍化剤及び成長条件の最適化により種結晶の品質と同程度の窒化ガリウム単結晶作製に成功した。酸性鉍化剤を使用しており、フラックス法で危惧される半導体基板に致命的なアルカリ元素の不純物混入はない。X線ロックアップにより評価した結果、半値幅が市販レベルのHVPE製種結晶を用いたとき150秒、東北大のNaフラックス法作成種結晶を用いたとき70秒であった。この温度圧力条件であれば結晶製造装置である圧力容器の大型化が可能であり実用化を目指す上で大きなアドバンテージとなる。

東北大では平行してNaフラックス法による高品質Ga₂O₃結晶の開発も進めている。Naフラックス法で作製したGa₂O₃をアモノサーマル用種結晶に使用することで、市販の気相法作製Ga₂O₃よりも高品質なGa₂O₃の作製に成功しており、今後、Ga₂O₃をアモノサーマル法の「種」結晶として用いることにより大型無転位結晶の製造を目指す。

実用化に向けた取り組みとしては東北大グループと連携しているソルボサーマル結晶成長技術研究組合（理事長：福田承生東北大教授、三菱化学、日本製鋼所、フルヤ金属、東京電波、日本化成）が中心となり超臨界アンモニア条件下での耐食性に優れた大型圧力容器の開発に成功した。既にパイロットプラントが稼働しており2インチサイズ結晶の実証試験に着手した。5年以内の事業化を目指している。

また窒化ガリウムの熱伝導率が炭化珪素の75%程度であることを世界で初めて示した。従来窒化ガリウムは炭化珪素と比べて熱伝導率で大幅に劣る（約1/4）ことから放熱性が重視されるハイパワーデバイスには不向きとされていたが、これらデバイス領域への窒化ガリウム適用の可能性を示した。

東北大学多元物質科学研究所では来年度から「窒化物ナノエレクトロニクス材料研究センター」（仮称）を設置しドーピング技術、非極性・半極性結晶の開発からデバイス応用まで窒化物材料研究拠点を形成する計画である。

用語解説

◆ 窒化ガリウム(GaN)

青色発光ダイオードの材料として用いられる半導体。青色レーザとしても実用化されている。GaN は他の半導体と比べ、熱伝導率が高いことや飽和電子速度が速いことなどから発光デバイスだけでなく、電子デバイスとしての応用も期待されており、これらデバイスを製造するための基板として4インチを超える大型 GaN 結晶が望まれる。

◆ ソルボサーマル法

結晶作製法の1つ。通常の温度・圧力では溶解しない溶質について、高温・高圧の超臨界流体中に溶解し、結晶を再結晶させる方法。使用する溶媒によって hidroサーマル(水)法やアモノサーマル(アンモニア)法などと呼ばれる。

◆ 超臨界流体

気体と液体が共存できる限界の温度・圧力(臨界点)を超えた状態にあり、通常の気体、液体とは異なる性質を示す流体。気体に近いエネルギーを持ち、液体と同程度の密度を持つため反応性に優れている。僅かな温度差により密度が大きく変化するため、溶解力の制御を容易に行うことが出来る。

◆ X線ロッキングカーブ

X線を用いた結晶評価方法。検出器を固定し、X線と試料のなす角を回転して測定する。結晶性が良い試料では回折ピークがシャープになるが、結晶性の悪い試料ではブロードになる。ピークの広がり(ピーク強度が1/2の時の幅)で表され、半値幅が小さいほど結晶性の良い結晶と言える。

◆ 非極性、半極性結晶

GaN は c 軸方向に一軸異方性を有することから、c 面にデバイスを形成した場合、格子定数の差など僅かな歪により piezo電界が発生する。piezo電界は発光素子の発光効率低下と波長シフトの原因となる。piezo電界は c 軸方向に沿って発生するので、デバイス層の成長軸を c 軸方向から傾いた方向に設定すれば、成長軸方向へ及ぼす piezo電界の影響を弱められ、外部量子効率の向上につながる。そこで、GaN 結晶の c 面に垂直な a 面や m 面と呼ばれる非極性面、あるいは c 面に対して傾いた半極性面と呼ばれる面を成長面とし、それぞれの面の法線方向を成長軸と LED を作る研究が盛んになりつつある。しかしながら c 軸以外の結晶面へのエピタキシャル成長は容易ではない。ソルボサーマル法は溶液中での結晶成長であるため、全方位に対して結晶作製が可能であり、非極性、半極性 GaN バルク結晶量産が可能である。

