ガラス上に形成された大粒径 poly-Si 薄膜および poly-SiGe 薄膜におけるゲッタリング現象

研究代表者名 東北学院大学・工学部・原明人

研究分担者名 東北大学・金属材料研究所・大野裕 東北大学・金属材料研究所・米永一郎

1. はじめに

ガラス上の poly-Si 薄膜は、安価・大面積で高変換効率を有する太陽電池を実現するための半導体材料 として注目されている。太陽電池の性能・信頼性の向上のためには、金属不純物のゲッタリング現象の理 解が不可欠であるが、ガラス上の poly-Si 薄膜のゲッタリング現象に関して十分な知見が得られていると は言い難い。これはガラス上で形成できる poly-Si 薄膜は結晶粒径が小さく、また結晶粒内には結晶欠陥 が多数存在しており、ゲッタリング現象を研究するために必要な十分な結晶品質が得られなかったことに よる。本研究は、ガラス上に形成された大粒径・高品質 poly-Si 薄膜を利用し、薄膜中のニッケル(Ni)原 子のゲッタリング現象を電子スピン共鳴(ESR)を利用して研究することを目的としている。

研究代表者は、半導体励起固体連続波レーザ(DPSS CW グリーンレーザ,波 長=532nm)を利用してガラス上に大粒径・高品質 poly-Si 薄膜を形成する技 術を既に確立している。この技術を用いて Ni をドープした大粒径・高品質 poly-Si 薄膜をガラス上に形成した。まず、厚さ 100 nm の非晶質 Si をガラ ス上に形成した後、Ni を利用した金属誘起固相成長(Ni-SPC)により、Ni-SPC poly-Si 薄膜を形成する。この膜中の Ni 濃度は、SIMS 分析から 5×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> であることが分かっている。次に、DPSS CW グリーンレーザを利用したメル ト成長を行い、Ni をドープした大粒径・高品質 poly-Si 薄膜を形成する。 このサンプルに対し、デバイスプロセスをシミュレートするために 580℃8 時間の熱処理を行い TEM 観察を行った。図(a) 中の①と示された黒い粒子は、 Ni のゲッタリングにより形成された Ni シリサイドである。固化時に格子間 位置を占有していた Ni がプロセスシミュレーション熱処理時に拡散し、結 晶粒界にゲッタリングされ、粒界会合点でシリサイド化した結果であると考 えている。



3. 研究成果

Si 中の Ni 不純物は格子間位置を占有し、ESR で観測できることが知られている。また、格子間位置の Ni 不純物は拡散係数が非常に大きいことが知られており、容易に結晶粒界などの欠陥にゲッタリングされる。Ni が拡散できる温度で熱処理を行えば、格子間位置を占有している Ni 原子の濃度は、ゲッタリング により減少するため、熱処理時間とともに ESR シグナルが減少していく過程が観測できるはずである。

2 で述べた方法により Ni をドープした大粒径・高品質 poly-Si 薄膜を形成し、ESR の測定を試みたが Ni 原子の ESR スペクトルの観測に成功していない。原因は以下の 3 点によると考えている。 ①総スピン数

Ni は単位体積あたり 5×10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup>がドープされているものの、シリコン膜厚は 100 nm と薄いため、キャビティ内部の総原子数は 5×10<sup>13</sup> cm<sup>-3</sup>程度である、これは装置の検出限界に近い。

②荷電状態制御

Ni が ESR 活性であるためには、荷電状態を制御する必要がある。そのためには、Ⅲ族またはV属の不純物のドーピングにより、フェルミ準位を制御する必要がある。しかし、作成した半導体薄膜は真性半導体に近い。

③測定温度

NiのESR スペクトルの観測のためには液体He温度(数K)まで低温化する必要がある。しかし、クライオスタットの不調により温度が十分に下がっていない。

今後は、これらの要因について最適化していく必要がある。

4. まとめ

ガラス上に形成された大粒径・高品質 poly-Si 薄膜を利用し、薄膜 Si 中の Ni のゲッタリング現象を ESR により観測することを目指したがスペクトルの観測には至っていない。今後は、総スピン数、荷電制御、 測定温度について最適化を行う必要がある。

# 研究課題名

水素終端シリコン表面を利用したマイクロ融液結晶成長制御

研究代表者名

広島大学・大学院先端物質科学研究科・東清一郎

研究分担者名

広島大学・大学院先端物質科学研究科・林 将平 広島大学・大学院先端物質科学研究科・赤澤 宗樹 広島大学・大学院先端物質科学研究科・松本 竜弥

1. はじめに

高効率太陽電池の開発において、資源の安定確保と発電効率の観点から、結晶シリコン系太陽電池は将 来にわたり最重要であることは間違いない。また、液晶や有機 EL といったディスプレイの高機能化には、 結晶シリコン膜をチャネルに用いた薄膜トランジスタ(TFT)の高性能化が不可欠である。本研究では、 高結晶性シリコン膜を形成する技術として、微小シリコン液滴を基板上に滴下することによりミリ秒時間 で高品質結晶成長を実現する「シリコンマイクロ融液プロセス」および「大気圧熱プラズマジェット(TPJ) 照射によるシリコン融液からの高品質結晶成長技術」に注力し、その技術基盤構築を目的とする。

本年度は高速で高結晶性シリコン膜を作製するアプローチとして、高パワー密度化したマイクロ TPJ (µ-TPJ)照射によるシリコン膜の相変化過程について調べ、アモルファスシリコン (a-Si)膜上に形成し た溶融領域を高速走査することによる大粒径シリコン結晶成長の実現に注力した。更に細線状のシリコン パターンを利用して、局所的に単結晶を成長する技術に取組み、最終的にはこの結晶をチャネルに用いた TFT を試作することで、本研究の有用性の実証をおこなった。

#### 2. 研究経過

過渡的熱拡散過程において基板表面温度と加熱時間を精密制御 するためには、表面に伝達するパワー密度制御が重要である。TPJ の高パワー密度化には、水冷陽極ノズル微小化に加え、長アーク ギャップ化によるプラズマ加熱が有効であるという知見に基づ き、本研究ではノズル径( $\phi$ )を従来の4mmから0.8mmへ縮小 し、更に陽極一陰極間距離(アークギャップ)を従来の1.0mm から2.0mmへ拡大した。この結果、Fig.1に示す様に、従来~8 kW/cm<sup>2</sup>であったパワー密度を最大53 kW/cm<sup>2</sup>まで高めることが できた。これは従来熱処理に多用されてきたレーザーと同等、あ るいはそれ以上のパワー密度である事が明らかになった。

高パワー密度化したµ-TPJ を用いて、石英基板上に堆積した a-Si 膜の結晶化を試みた。µ-TPJ 照射中のシリコン膜の実時間反 射率変化からマイクロ秒時間におけるシリコン膜の相変化過程を 調べたところ、Fig. 2 に示すような波形が得られた。プラズマ源 に投入する電力が 1.56kW では、1.5ms 付近で反射率が突如低下 する特徴的な波形が観測された。これまでの調査から、この低下 は a-Si が固相で結晶化した際に見られる波形である事が分かっ ている。さらに投入電力を増加させつつ測定をおこなうと、いず れの条件でも固相結晶化に起因する反射率の低下が観測され

(Fig. 2.挿入図)、その後に大幅な反射率増加が観測された。こ のような高反射率は、シリコン膜の溶融に起因するものである。 すなわち、μ-TPJ 照射によって a-Si はまず固相結晶化 (SPC) し、その後、溶融・再結晶化の過程で横方向への長距離結晶成長 が誘起される事が明らかになった。μ-TPJ 照射により a-Si 膜中 に発生した溶融ゾーンを高速操作 (~4000 mm/s) する事で横方 向温度勾配を生成し、長さ~60 µm に達する結晶成長が可能とな った。この高速横成長結晶化 (HSLC) 技術は下地 SiO2 膜最適化 によりガラス基板上の TFT 作製にも適用可能であり、高スルー プット結晶化技術として有効であることが明らかになった。



**μ-TPJ** 照射 SPC で得られた粒径 ~20 nm のランダム配向微結晶及び HSLC で得られた(111)優先配向大 粒径結晶をチャネルに用いて TFT を作製した。試作は以下の手順で実 施した。基板上にプラズマ化学気相 堆積 (PECVD) 法によりリン (P) ドープ a-Si 膜を堆積し、ドライエッ チングによりソース・ドレイン領域 の島状にパターニングする。その後、 PECVD 法によりチャネル層となる ノンドープ a-Si 膜を堆積し、これに μ-TPJ 照射する事で結晶化と不純物 活性化を同時におこなう。チャネル パターンをドライエッチングで形成 した後、SiH<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>ガスのリモート



PECVD によりゲート絶縁膜を堆積する。ソース・ドレイン部のコンタクトホールを形成した後、Al 蒸着 によりゲート、ソース、ドレイン電極を形成し、最後に 250℃のアニールを行ってデバイスを完成する。

以上の方法により作製した TFT は、SPC および HSLC 条件において、それぞれ電界効果移動度µFE~10 及び 350 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>の値が得られた。結晶粒径が 20nm 程度の SPC に対して、大幅な粒径増加を達成できる HSLC では、4000mm/s という高い走査速度でも極めて高い移動度が得られ、本研究提案の結晶化手法 が大面積に適用可能な結晶成長技術として高い可能性を有する事が実証された。

更に高性能な TFT を実現する事を目指して、細線化したチャネルパターンにμ-TPJ 照射し HSLC を誘 起したところ、特に 2μm 以下の細いパターンでは局所的に結晶粒界が認められないことが光学顕微鏡で確 認された。これは、溶融領域の進行方向とパターンの方向がある特定の関係にある場合に、結晶粒界が排 除され、かなりの長距離にわたって単結晶成長が誘起された可能性があると考えた。そこで、東北大学所 有の EBSP 装置を用いて、細線パターンの結晶性について調査を実施していただいた。Fig. 3.左図に示す 幅 1μm の細線パターンに HSLC を適用した EBSP (Fig. 3 右図)を見ると、赤線で囲んだ場所に見られ るように、~20μm におよぶ単結晶領域を確認する事が出来た。このことから、まだ完全な位置制御には

至ってないものの、局所的単結晶成長がある確率で達成でき る事が明らかになった。そこで、チャネル位置に細線が来る ようなパターンを作成し、これに HSLC を適用して TFT を 作製した。チャネル長(L)を 50µm で一定として、チャネ ル幅(W)を 2~50µm まで変化させて TFT を作製したとこ ろ、W が小さくなるにつれて TFT の移動度は単調増加する ことが明らかになった。W を小さくして結晶粒界を排除する ことによって、移動度が増加したものと解釈できる。Fig. 4 に W=2 および 50µm の TFT の伝達特性を示す。チャネル内 に多数の粒界が存在する W=50µm ではµFE = 283 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> であったのに対して、W=2µm ではµFE = 477 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>とい う単結晶 MOSFET とほぼ同等の高性能が得られた。



fabricated by µ-TPJ induced HSLC.

#### 3. 研究成果

本研究で作製した TFT のure = 477 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>という単結

晶 MOSFET とほぼ同等の高い移動度は、プラズマ結晶化技術で作製した TFT の性能としては世界最高値 である。

### 4.まとめ

μ-TPJ 照射による a-Si の相変化過程では、SPC に続く溶融領域の高速移動によって横方向へ大粒径結晶 成長が誘起される HSLC が生じる事が明らかになった。斯様にして得られた大粒径シリコン膜を TFT チ ャネルに適用することによって、4000mm/s という高い走査速度で $\mu_{FE}$ ~350 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>の高性能を得る事が 出来た。更に HSLC をチャネル細線パターンに適用する事で局所的単結晶成長が達成可能であり、これを 用いた TFT では、 $\mu_{FE}$ = 477 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>という単結晶 MOSFET とほぼ同等の高性能を達成することができ た。

# シリコン系ナノ材料の構造安定化と機能付与

## 関口隆史、宮村佳児、渡辺健太郎 物質・材料研究機構・半導体材料センター

# 小野寺尚志、李 雄 筑波大学·数理物質科学研究科

## 伊藤 俊、高田九二雄 東北大学·金属材料研究所

1.はじめに

シリコンナノ細線は、FINFETや surrounded gate など、3次元構造を有する次世代半導体素子の構成 要素として研究が進んでいる。我々はこれまで、シリコンナノ細線の成長と評価で実績をあげてきた。現 在、ナノ細線の電気的特性を向上させるため、ドーピングに取り組んでいるが、添加したドーパント不純 物の活性化率が十分でない、ナノ細線を合成する時に触媒として使用している金属不純物の影響が懸念さ れるなどの問題がある。ナノ細線の高品質化には、熱処理など成長後の特性制御法を確立しなければなら ない。あるいは、不純物をより制御した成長法を考案する必要がある。そこで、次世代半導体材料として 実用可能なシリコンナノ細線をめざして、ナノ材料の構造安定化と不純物制御法を検討する。具体的には、 触媒成長時の金属触媒の有無による構造・電気的特性の違い成長後熱処理による構造変化、不純物の活性化 を検討し、シリコンナノ細線の実用化に必要な電気的特性制御技術を確立する。

今年度は、昨年度に引き続き、ダイヤモンド旋盤の切削により作製した Si ナノ細線の結晶構造と発光特性との関係を調べた。また、並行して、結晶シリコン系次世代太陽電池の開発に関連し、高品質多結晶シリコン中の粒界評価を行なった。

2 . 研究経過

切削 Si ナノ細線は、東北大学工学部機械工学科閻准教授より頂いた。SEM による形状観察[NIMS]、TEM による構造解析[IMR]を行ない、発光特性をカソードルミネッセンス(CL)によって評価した[NIMS]。 太陽電池用高品質多結晶 Si は、エッチングにより粒界を可視化し、EBSD 法により粒界性格を決定、 EBIC 法により電気的活性度を調べた[NIMS]。さらに機械研磨で粒界を抽出し、構造を TEM により観察

3.研究成果

した[IMR]。

切削 Si ナノ細線の CL では、スペクトル上で 1.0 から 1.5eV までの幅広いピークを持った発光が観察されていたが、熱処理の効果や励起条件を変えた観察を行なった結果、発光はナノ構造に特有の現象ではなく、電子ビームの局所励起による温度上昇が原因であろうとの結論に達した。

太陽電池用高品質多結晶 Si の評価では、強い再結合中心として作用し、変換効率を大きく下げる原因となる小角粒界の TEM 観察に成功した。ずれ角が2から3度の小角粒界のうち、電気的作用の強い粒界で、特徴的な転位配列を観察した。

4.まとめ

切削 Si ナノ細線の新しい光学特性の発見には至らなかったが、派生した研究によって、機械加工による シリコン表面層のダメージとその回復についての重要な知見が得られた。今後、ナノ加工とレーザー処理 によるシリコンの切削について研究を展開して行きたい。

太陽電池用多結晶 Si の小角粒界に、強い電気的作用を付加する転位配列が明らかになった。今後は、 何故この配列が、再結合中心として強く作用するのかを、高分解能 TEM 観察などを通して明らかに して行きたい。 【研究部】

# 半導体中転位の光学的・電気的性質

研究代表者名 東京大学・生産技術研究所・枝川圭一

# 研究分担者名 東京大学・生産技術研究所・上村祥史 東京大学・工学系研究科・竹中利枝、中村明穂 芝浦工業大学・工学研究科・小林俊仁

1. はじめに

半導体中の転位はリーク電流や不純物偏析などデバイス特性を劣化させる主体であるとして産業的には 好ましくない存在であり、極力その密度を抑える方向で研究が進められている。一方、転位芯に沿ってバ ンドギャップ中に局在準位が形成されたり、キャリアが転位芯に捕獲されるなど、転位それ自体が持つ電 気的な特性についても以前から着目されていた。本研究課題においては前年度までこのような転位の電気 的特性について、GaN および GaP 中の転位を対象に研究を行い、これに沿った電気伝導や高抵抗領域の 形成を実験的に観察してきた。こうした転位のイントリンシックな性質に加え、本年度は転位線に沿って 金属元素を拡散させることで作成されたナノ細線にも着目し、その電気的特性に加えて磁気的特性に関し て研究を行った。試料には Si 単結晶を用い、これに転位を導入した後に Fe を拡散させ、試料の電気的・ 磁気的特性を測定した。

2. 研究経過

(1)<u>Si 単結晶への転位線の導入</u>: Non-dope の CZ-Si 単結晶ウェハ表面にスクラッチを入れ、真空中 800℃ にて曲げ変形を加えた。変形後、エッチングにより表面ピットを形成して転位が導入されたことを確認した。

(2)<u>Feの転位線への拡散</u>:転位を導入した試料に Fe を蒸着し、真空中 800℃にて熱処理後、急冷することによりバルク中へ拡散させた。蒸着面は化学研磨で削り落とした。

(3)<u>転位の TEM 観察</u>:エネルギー損失分光(EELS)マッピングおよび高角度散乱暗視や走査透過電子顕微 法(HAADF-STEM)により、転位のキャラクタリゼーションと転位近傍の元素分布を調べ、転位線上の金属 細線の形成を調べた。

(4)<u>試料表面の電気的特性の測定</u>:走査型拡がり抵抗顕微鏡(SSRM)により、表面の電気伝導度分布を調べた。

(5) 磁化特性の測定: 超伝導量子干渉素子-試料振動式磁力計(squid-vsm)により、導入された細線の方向 に垂直/平行に磁場を印加した場合の磁化測定を行なった。

3. 研究成果

曲げ変形後にエッチングした試料表面を光学 顕微鏡観察したところ、スクラッチを中心に転位 に対応する表面ピットが観察され、その密度はス クラッチから遠ざかるにつれ減少していた。すな わち、スクラッチの歪場を転位源として転位ルー プが増殖・成長したことが分かった。TEM 観察 により、このループを形成する転位は<101>バー ガーズベクトルを持つらせん転位と 60°転位で あることが分かった。図1にTEM 明視野像およ び同視野の Fe についての EELS マッピング像を 示す。図中下部は蒸着した Fe の領域である。 EELS マッピングよりらせん転位に Fe 元素のコ ントラストが見られ、60°転位ではこれが見られ



図1

Fe を蒸着した試料の表面近傍の(a)TEM 明視野 像および(b)Fe の EELS マッピング像 ない。図2に Fe を拡散させたらせん転位の HAADF-STEM 像を示す。この場合も原子量に依 存して現れるZコントラストにより、らせん転位 上に Fe 元素が析出していることが示された。以 上より、Fe はらせん転位のみに偏析し細線を形 成していることが分かった。

Fe が転位線に偏析した試料をくさび状に研磨 し、もとの表面からの種々の深さにおける電気伝 導度の分布を SSRM で調べたところ、表面に近 いところほど高密度の導電性スポットが観察さ れた。この深さ分布は転位密度の分布に対応して おり、形成された Fe 細線が電気伝導性のもので あることが確かめられた。また、無転位の試料に Fe を蒸着したものや、転位があっても Fe を蒸着 しなかった試料に関しては、このような電導性ス ポットは観察されなかった。

図3に、導入されたらせん転位の方向に対して 磁場を垂直にかけた場合と平行にかけた場合の 印加磁場一磁化曲線を示す。曲線がヒステリシス を描いていることから、転位周りの偏析物が磁性 体となっていることが分かった。また、転位線方 向に対して飽和磁場の大きさに異方性がみられ、 らせん転位に対して磁場を垂直にかけたときの ほうが、平行にかけた時よりもより大きな磁場を 必要とすることが分かった。これは、細線に対し て垂直に磁化するときのほうが反磁界係数が大 きいためであると考えられる。以上より、転位線 上の磁性体は微粒子ではなく細線としての性質 を帯びていることが分かった。

4.まとめ

半導体中の転位の電気的性質に関して、これまでに転位のイントリンシックな性質としての導電性や転 位周辺の高抵抗領域の形成を観察してきた。本年度はこれに加えて転位の磁気的性質として Si 中のらせん 転位に偏析した Fe 原子が形成する細線の電気的磁気的性質に関する研究を行った。Si 中の転位のうち、 らせん転位には拡散によって Fe 原子が偏析し、電気伝導性を持つことが TEM および SSRM 観察によっ て示された。また、磁化測定によって偏析した Fe 原子は磁性体であり、磁性細線としての性質を持ってい ることが示された。

本研究では Si 中に Fe を拡散させることで磁性細線を形成したが、FeSi 化合物中に転位を導入し、熱処 理することで転位近傍の Fe 濃度をコントロールして磁気的性質を発現させる可能性について研究を進め ている。



# 図2

Fe を拡散させたらせん転位の(左)TEM 明視野 像および(右)HAADF-STEM 像





Feを拡散させたらせん転位を含む試料の磁化曲線。転位線方向に平行な場合(H(//))および垂直な場合(H(⊥))。

先端的電子顕微鏡技術による低次元ナノ構造体の極微構造解析

研究代表者名

大阪大学・産業科学研究所・石丸学

## 研究分担者名 東北大学·金属材料研究所·佐 藤 和 久、今 野 豊 彦

1. はじめに

量子ドットやナノワイヤーに代表される低次元ナノ構造は、バルクとは異なる特異な振る舞いを示すことから新規機能性材料の構成要素として注目されている。結晶成長時の自己組織化は、低次元ナノ構造を 容易に実現することができるため、本手法によりナノスケールで構造的、組成的変調をデバイス中に導入 した例もいくつか存在する。本年度は、エピタキシャル薄膜成長時に自発的に形成される自然超格子の極 微構造解析を行った。

### 2. 研究経過

ガスソース分子線エピタキシーにより GaAs(001)基板上に 470℃ で GaInP を作製した。試料の評価には X 線回折および透過電子顕微鏡(TEM)を用いた。

### 3. 研究成果

図1は、得られた GaInP/GaAs のX線ロッキングカーブである。GaAs 基板による 004 反射に加えて、 GaInP エピタキシャル薄膜によるピークが存在する。GaInP の 004 メインピーク(0)の周りには A およ び B で示した衛星反射が存在する。これらの衛星反射の起源を明らかにするため、断面 TEM 観察を 行った。図2(a)は、GaInP/GaAs の明視野像である。GaInP 薄膜全体に渡って、白と黒のコントラスト が成長方向に沿って交互に現れていることが分かる。この構造をより詳細に調べた結果を、図2(b) に示す。A および B で示した 2 種類の周期を有する変調構造が共存することが分かる。電子回折図形 にも B の周期に対応する衛星反射が見られる。一方、A の周期に対応する衛星反射は基本格子反射に 重なっているため観察できない。A および B の変調周期は 25 および 4nm で、図1 の A および B の衛 星反から求められる周期と一致する。B の周期は基板の回転速度に依存して変化することが確認され た。一方、A の変調構造は歪み場により形成されたと考えられる。高角度環状暗視野観察の結果、Ga と In の濃度変調により超格子が形成され、いわゆる vertical composition modulation(VCM)が実現され ていることが明らかとなった。

4.まとめ

X線回折および TEM 観察の結果、本実験で作製した試料において VCM が自発的に形成されていること が確認できた。VCM の形成は他の研究者によっても報告されているが、いずれも1種類の変調周期しか持たず、2種類の変調周期が共存する VCM 構造の形成はこれまで報告されていない。今後は VCM の周期や 形成過程に及ぼす成長温度や基板回転速度等の影響を調べる予定である。





図2. (a)GaInP/GaAsの断面明視野像および(b)GaInPの拡大像。

# 研究課題名

ZnO 基板を利用した高品質 III 族窒化物薄膜の作製

# 研究代表者名 東京大学・生産技術研究所・藤岡 洋

### 1. はじめに

III族窒化物半導体(Al,In,Ga)Nは深紫外(~6eV)から赤外域(~0.65eV)をカバーする直接遷移型半導体であ るため、赤外から紫外域における発光素子としての応用が期待されている.しかしながら、現状では窒化 物発光素子は青色領域以外では内部量子効率が極めて低い.この低い高効率の原因として、格子不整の大 きい薄膜/基板界面での高密度の結晶欠陥の発生などが知られている.この問題は III 族窒化物と格子定数 が近く、同様の結晶構造を有する ZnO を基板に用いることができれば解決できると考えられ ている.し かしながら、一般的に GaN の成長に用いられる MOCVD 法では成長温度(700~ 1000℃)が高いため、ZnO と窒化物の界面に反応層が形成されてしまうという問題点があった.一方最近、我々はこれまでにパルス 励起堆積(PXD)法を用いることで、界面反応が起こらない温度まで III 族窒化物の成長温度を低減できるこ とを見出した.また、Zn の脱離を抑制した状態で熱処理することによって、ZnO 基板表面の原子レベル での平坦化に成功している。このような原子レベルで急峻な界面および平坦な基板表面は、ZnO 基板上へ の理想的な窒化物薄膜成長を可能にすると期待できる.本研究では、東大の開発した PXD バッファー層技 術と東北大の MOCVD 結晶成長技術を融合した結晶成長プロセスを開発し、ZnO 基板上へ高効率 III 族窒 化物発光素子の実現を目的とする.

### 2. 研究経過

・In を含む窒化物半導体結晶を ZnO 基板上へエピタキシャル成長させる技術を開発

・無極性面 InGaN/ZnO の光学的異方性の検証

・高品質 In 系窒化物半導体結晶作製用の擬似格子整合基板の開発

### 3. 研究成果

"Room-Temperature Epitaxial Growth of High-Quality m-Plane InAlN Films on Nearly Lattice-Matched ZnO Substrates"

T. Kajima, A. Kobayashi, K. Ueno, K. Shimomoto, T. Fujii, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima Jpn. J. Appl. Phys. 49, 070202 (2010).

"Optical polarization characteristics of m-plane InGaN films coherently grown on ZnO substrates"

A. Kobayashi, K. Shimomoto, J. Ohta, H. Fujioka, and M. Oshima Phys. Status Solidi RRL 4, 188 (2010).

4.まとめ

今年度は、ZnO 基板と格子整合性の高い In を含む窒化物半導体(InGaN, InAlN)の高品質化を集中的に行なった。無極性面を結晶成長面として採用することで、コヒーレント成長が促進され薄膜中への結晶欠陥の導入が大幅に抑制できることを見出した。コヒーレント成長させた厚膜 m 面 InGaN は従来の GaN 基板上 InGaN とは発光の偏光方向が 90°回転していることを発見した。この偏光特性は将来的にレーザーダイオードを作製した場合に、構造的に有利に働くことも分かっている。今後はこれらの知見をベースとした PXD/MOCVD ハイブリッドプロセスによる、高効率・高輝度発光素子の開発が期待される。