

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04963

研究課題名(和文)新規層状化合物バッファを適用したSi上GaAsエピ成長、および薄層剥離の研究

研究課題名(英文)GaAs epitaxial growth and lift-off from Si using a novel layered compound buffer

研究代表者

小島 信晃 (KOJIMA, NOBUAKI)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：70281491

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、III-V族化合物半導体デバイス的大幅な低コスト化を目指して、層状化合物中間層を介してSi基板上にGaAsを成膜し、GaAs層を薄層剥離することを目的としている。課題はGaAs層の高品質化であり、本研究テーマでは、微傾斜基板の原子ステップが結晶成長過程に与える影響を明らかにすることを目指した。その結果、層状化合物の結晶成長方位を単一方向に揃えるためには、基板の傾斜方向が重要であることを明らかにした。さらに、成膜したGaAsをSi基板上から剥離できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

層状化合物中間層を介して、Si基板上にGaAsをエピタキシャル成長するという本アイデアは、過去にも研究例があるが、本手法で高品質なGaAsを実現した報告はない。本研究では、微傾斜基板の原子ステップが結晶成長過程に与える影響を明らかにすることにより、結晶方位を一方向に揃えた高品質な層状化合物の成膜に初めて成功しており、高品質なGaAsを実現するための重要な要素技術として、学術的意義は高い。本研究のさらなる進展により、III-V族化合物半導体デバイス的大幅な低コスト化が可能となれば、社会的にも意義の高いものと言える。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is GaAs epitaxial growth and lift-off from Si using a novel layered compound buffer in order to significantly reduce the cost of III-V compound semiconductor devices. The challenge is to improve the quality of the GaAs layer. In this research theme, we aimed to clarify the effect of the atomic step of the vicinal substrate on the crystal growth process. As a result, it was found that the off direction of the substrate is important to align the crystal growth orientation of the layered compound in a single direction. Furthermore, we found that the epitaxial GaAs layer can be lift-off from the Si substrate.

研究分野：半導体工学

キーワード：化合物半導体 層状化合物 エピタキシャル成長 結晶成長 分子線エピタキシー エピタキシャルリフトオフ X線回折 結晶欠陥

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

GaAs などの半導体基板上にエピタキシャル成長した III-V 族化合物半導体薄膜を剥離し、安価な基板に転写することは、化合物半導体デバイス的大幅な低コスト化やフレキシブル・エレクトロニクスへの展開が期待でき、太陽電池、発光デバイス、通信、パワーエレクトロニクス、医療、ロボットなど、波及する応用分野も多岐に亘る。こうした化合物半導体の薄層剥離（エピタキシャル・リフト・オフ：ELO）は、従来、GaAs 基板上にエピタキシャル成長した III-V 族化合物半導体薄膜において、犠牲層をフッ酸（HF）系の溶液で選択的にエッチングすることで、基板上から剥離する手法が一般的に用いられている。しかし、膜を剥離するにはフッ酸系のエッチング速度が遅く長時間を要すること、フッ酸等の毒物・劇物指定の薬品が必要であること、GaAs 基板の価格が Si 等と比較して高額で、ウエハサイズも小さいこと、といった多くの課題がある。

そこで我々は、これらの課題の解決策として、価格が安く、ウエハサイズも大きい Si 基板を用いて、GaAs などの III-V 族化合物半導体薄膜をエピタキシャル成長し、薬品を使わずに機械的力のみで薄膜を剥離する手法を検討してきた。Si 基板上に GaAs を成膜する際、Si と GaAs の間に中間層（バッファ）として二次元層状化合物を成膜する。二次元層状化合物は、弱いファンデルワールス力で結合した界面を持つため、その界面で劈開性を有し、機械的力のみで劈開による薄層剥離が可能である。

研究開始当初までに、GaAs と同じ結晶構造である閃亜鉛鉱構造を基本とした二次元層状化合物の  $\text{In}_2\text{Se}_3$  を中間層に用いて、Si 基板上に GaAs を成膜し、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  の劈開により、上層の GaAs 層をプラスチック基板に転写することに成功している。課題は、GaAs 層の高品質化であり、特に結晶方位が回転したダブルドメイン成長を抑制すること、GaAs 中の転位密度を低減することである。これまでの研究により、ダブルドメイン成長の抑制には、基板の面方位を僅かに傾斜させた微傾斜基板を用いることが有効であることが示されているが、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  の結晶成長過程とダブルドメイン形成との関係は明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、Si(111)微傾斜基板上的  $\text{In}_2\text{Se}_3$  層状化合物の成膜において、基板の原子ステップが  $\text{In}_2\text{Se}_3$  の結晶成長過程に与える影響を明らかにすることを目的とする。さらに、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜上に薄層剥離可能な高品質 GaAs 層を成膜するための課題の明確化にも取り組んだ。

## 3. 研究の方法

$\text{In}_2\text{Se}_3$  の成膜には、分子線エピタキシー（MBE）法を用いた。基板には、Si(111) 微傾斜基板を用い、そのオフ方向が結晶成長過程に与える影響を検討した。作製した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜試料は、X 線回折（XRD）測定、走査型電子顕微鏡（SEM）、原子間力顕微鏡（AFM）、透過型電子顕微鏡（TEM）により評価した。また、製膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  上に GaAs 層を成膜し、GaAs 層の剥離実験を実施した。

## 4. 研究成果

基板に Si(111)のジャストカット面、 $[-110]$ 方向に  $4^\circ$  のオフカット面、 $[11-2]$ 方向に  $4^\circ$  のオフカット面をそれぞれ使って成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜の  $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面に関する X 線回折極点図を図 1 に示す。この極点図における  $\phi$  軸方向での断面図を図 2 に示す。それぞれ、基板の結晶方位に対して、等価な  $[-1\ -1\ 2]$  の 3 方向および  $[1\ 1\ -2]$  の 3 方向に  $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面の回折点が現れ、各方向における回折点の強度が、基板のオフ方向によって異なっている。

$\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面は、 $c$  軸に対して 3 回対称を有する。上記の結果は、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜が Si(111)面上で  $c$  軸を Si 基板の  $[111]$  軸に揃えてエピタキシャル成長し、 $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面が  $[-1\ -1\ 2]$  の 3 方向に向く領域と、 $[1\ 1\ -2]$  の 3 方向に向く領域の 2 つの領域が混在した状態、すなわちダブルドメインで成長していることを示している。この 2 つの領域の結晶方位の関係は、 $c$  軸に関して

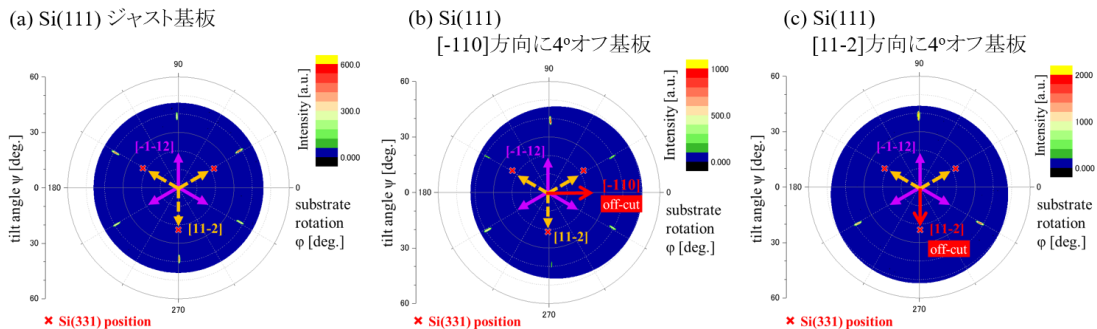


図 1 基板に Si(111)のジャストカット面 (a)、 $[-110]$ 方向に  $4^\circ$  のオフカット面 (b)、 $[11-2]$ 方向に  $4^\circ$  のオフカット面 (c) をそれぞれ使って成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜の  $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面に関する X 線回折極点図

180° 回転したものになっている。これら回折点の強度が、基板のオフ方向によって異なっていることは、基板表面ステップでの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  との化学結合の方向が、優先的に成長するドメインの結晶成長方位に影響を及ぼしていることを示唆している。 $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面の極点図から、 $[1\ 1\ -2]$ 方向に回折点を持つドメインと、 $[-1\ -1\ 2]$ 方向に回折点を持つドメインの割合を、図 1, 2 の回折強度比から各オフ方向の基板について見積もった結果を表 1 に示す。 $\text{Si}(111)$ の $[11\ -2]$ 方向に4°のオフカット面を基板に使用することにより、 $[-1\ -1\ 2]$ 方向に回折点を持つドメインを選択的に形成し、ほぼ単一ドメインの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜をエピタキシャル成長できることが示された。これは、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜の結晶成長方位は基板との界面で決定され、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  単位層同士のファンデルワールス界面では、結晶成長方位は自由に回転しないことも意味している。

次に、上記の各基板で成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜の表面モフォロジーを原子間力顕微鏡 (AFM) により観察した結果を図 3 に示す。 $\text{Si}(111)$ のジャストカット面上では、180° 反転した正三角形形状のステップを有する結晶ドメインが、複雑に絡み合いながら渦巻き状に成長している様子が見える。このことは、180° 回転した2つのドメインが絡み合いながら、スパイラル成長していることを示している。 $\text{Si}(111)$ の $[-110]$ 方向に4°のオフカット面上に成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  は、 $\text{Si}$  基板のオフ方向である $[-110]$ 方向に沿っておよそ±30° 向いた $[11\ -2]$ および $[-1\ -1\ 2]$ 方向に下るステップが連なり、ジグザグのステップ端を形成している。これは微傾斜基板表面のステップテラス構造を反映していると考えられ、基板のステップ下り方向に沿って  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜が二次元成長している。段差高さは約 1nm であり、 $\alpha$ 型  $\text{In}_2\text{Se}_3$ の単位層の高さに相当している。 $\text{Si}(111)$ の $[11\ -2]$ 方向に4°のオフカット面上に成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  は、 $\text{Si}$  基板のオフ方向である $[11\ -2]$ 方向に下る直線形のステップ端が形成されており、基板のステップ下り方向に沿って  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜が二次元成長している。各段差高さは $[-110]$ 方向オフカット基板の場合と同様に約 1nm であり、 $\alpha$ 型  $\text{In}_2\text{Se}_3$ の単位層の高さに相当している。これらの結果から、オフ基板においては、基板表面ステップで  $\text{In}_2\text{Se}_3$  と化学結合し、基板表面のステップテラス構造を反映して、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜が二次元成長していることが示唆された。

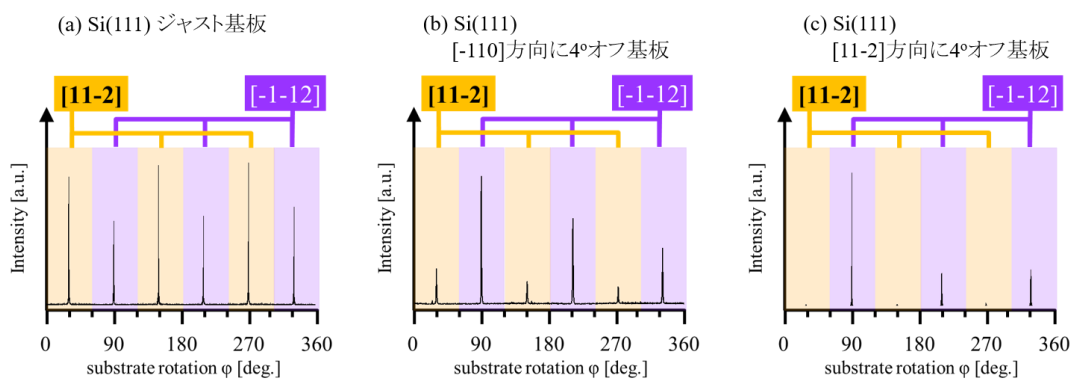


図 2 図 1 の極点図における  $\phi$  軸方向での断面図

表 1  $[11\ -2]$ 方向に回折点を持つドメインと、 $[-1\ -1\ 2]$ 方向に回折点を持つドメインの割合

基板	$[11\ -2]$ 方向に回折点を持つドメインの割合 (%)	$[-1\ -1\ 2]$ 方向に回折点を持つドメインの割合 (%)
ジャスト基板	60	40
$[-110]$ 方向に 4° オフ基板	24	76
$[11\ -2]$ 方向に 4° オフ基板	3	97

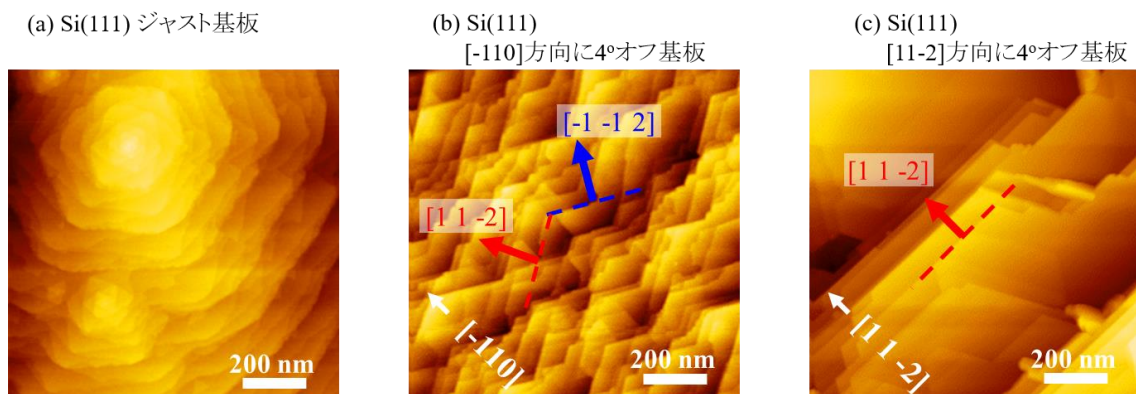


図 3 各基板で成膜した  $\text{In}_2\text{Se}_3$  薄膜の表面モフォロジーの原子間力顕微鏡 (AFM) 像

そこで、以上の結果から、Si 基板の表面ステップでの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  との化学結合の方向を考察する。Si(111)面  $[11-2]$ 下りステップからの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  成長初期についてイメージ図を図 4 に示す。 $[11-2]$  方向ステップ端では、ステップ端 Si 原子の $[11-2]$ 方向を向いた結合手と  $\text{In}_2\text{Se}_3$  の Se 原子が結合すると考えられる。そのため、成長初期の  $\text{In}_2\text{Se}_3$  単位層はステップ端での結合の極性によって、成長方位が決定される。極点図の結果より、 $\text{In}_2\text{Se}_3(0\ 1\ 11)$ 面は Si(331)面と  $\phi$  軸で  $180^\circ$  反転した方向になっており、本モデルと矛盾しない。

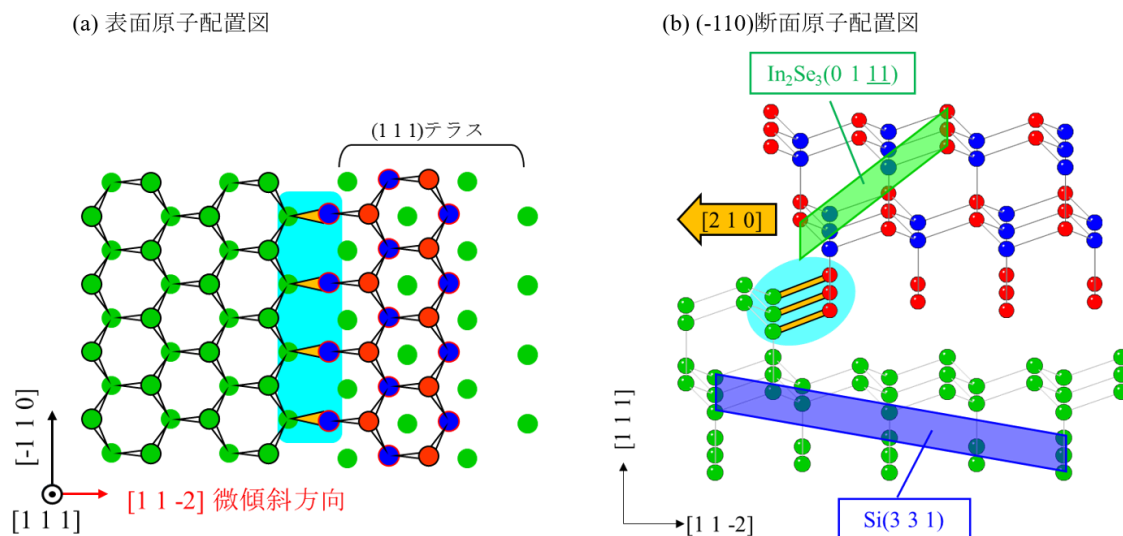


図 4 Si(111)面  $[11-2]$ 下りステップからの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  成長のイメージ図

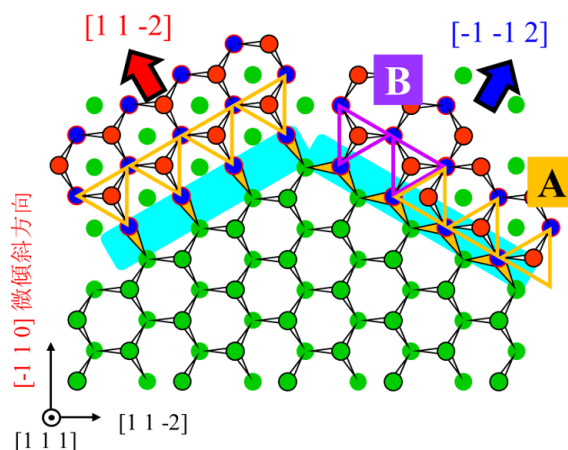


図 5 Si(111)の $[-110]$ オフカット面での  $\text{In}_2\text{Se}_3$  成長についてイメージ図 (表面原子配置図)

(a) Aドメイン構造

(b) Bドメイン構造

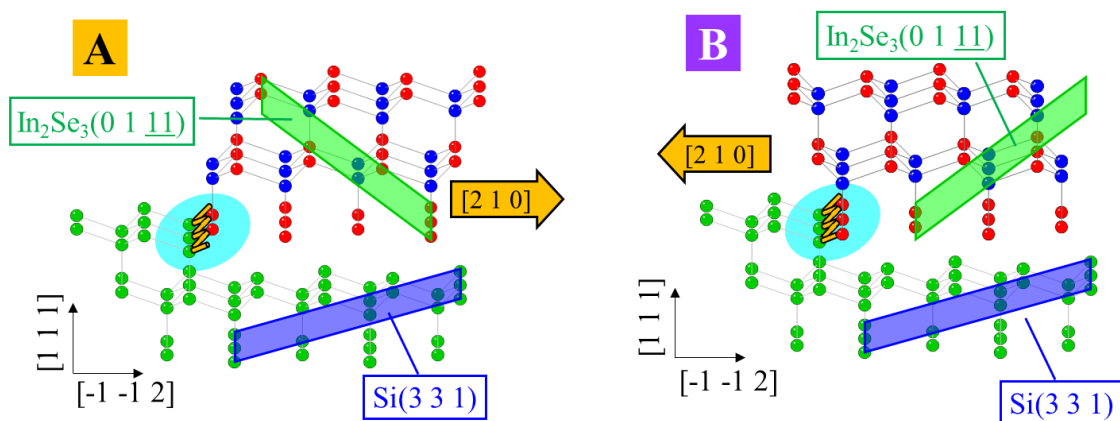


図 6 Si(111)面  $[-1-12]$ 下りステップからの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  成長における A ドメイン構造、B ドメイン構造のイメージ図 ( $(1-10)$ 断面原子配置図)



次に、Si(111)の[-110]オフカット面からの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  成長初期についてイメージ図を図 5 に示す。[-110]方向オフカット面では、[11-2]と[-1-12]方向下りステップが  $60^\circ$  方向を向いた形で安定に形成される。[11-2]方向ステップ端では、上述の様に  $\text{In}_2\text{Se}_3$  は一方向に結晶方位を揃えて成長すると考えられる。一方、[-1-12]方向ステップ端の Si 原子からは 2 つの結合手が伸びており、これが  $\text{In}_2\text{Se}_3$  の Se 原子が結合すると考えられる。このとき、図 6 に示す様に、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  の結晶方位は[11-2]ステップの場合と一致する A ドメインと、結晶方位が  $180^\circ$  回転した B ドメインの両方向で安定化する。その結果、[-110]方向オフカットの Si(111)微傾斜基板上ではダブルドメイン成長が生じたと考えられる。[-1-12]方向ステップでの A ドメインと B ドメインの形成確率がほぼ等しいと仮定すると、表 1 において、[11-2]方向に回折点を持つドメインと、[-1-12]方向に回折点を持つドメインの割合が約 1:3 になっていることが説明できる。

以上により、本研究の目的としていた「Si(111)微傾斜基板上の  $\text{In}_2\text{Se}_3$  層状化合物の成膜において、基板の原子ステップが  $\text{In}_2\text{Se}_3$  の結晶成長過程に与える影響を明らかにする」に対して、以下の結果を得た。 $\text{In}_2\text{Se}_3$  の結晶成長方位を単一ドメイン化するためには、Si(111)微傾斜基板の傾斜方向が重要であり、傾斜方向が[11-2]方向の場合に単一ドメインの  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜が得られることを明らかにした。そのダブルドメイン成長の抑制メカニズムについては、[11-2]方向傾斜の Si 基板表面の原子ステップにおいて、Si と  $\text{In}_2\text{Se}_3$  界面の原子の結合の自由度が一方向に制限され、その後  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜がステップフロー成長することにより、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜の単一ドメイン化が得られたと考えられ、その界面での結合モデルを示した。

本研究のもう 1 つの目的は、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜上に薄層剥離可能な高品質 GaAs 層を成膜するための課題の明確化であり、以下、本点について述べる。

本研究を通して明らかになった最大の課題は、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜の耐熱性である。 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜成長の最適な成膜温度は約  $450^\circ\text{C}$  であるのに対して、GaAs 膜の最適な成膜温度は、MBE 成膜法の場合で約  $550^\circ\text{C}$  である。成膜温度  $450^\circ\text{C}$  で  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜上に成膜した GaAs 膜は、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  層で剥離可能であることを本研究の開始前に確認していたが、GaAs 膜の最適な成膜温度である  $550^\circ\text{C}$  で成膜した GaAs 膜は剥離できなかった。これは、約  $500^\circ\text{C}$  以上の高温で、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜が構造変化し、2 次元層状構造を維持できないためであることを確認した。そこで、より高温で 2 次元層状構造が安定な GaSe を  $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜上に成膜し、GaSe/ $\text{In}_2\text{Se}_3$  ダブルバッファ構造とすることを考案した。 $\text{In}_2\text{Se}_3$  膜上に成膜した GaSe、および GaSe/ $\text{In}_2\text{Se}_3$  ダブルバッファ層上に  $550^\circ\text{C}$  で成膜した GaAs 層の成膜中の高速電子線回折 (RHEED) 像を図 7 に示す。両場合において、ストリーク像が観測され、良好なエピタキシャル成長が可能であることが示された。また、GaSe/ $\text{In}_2\text{Se}_3$  ダブルバッファ層上に  $550^\circ\text{C}$  で成膜した GaAs 膜は、 $\text{In}_2\text{Se}_3$  層で剥離可能であることが確認できた。図 8 に、本構造で 2 インチ Si(111)基板から剥離した GaAs 層の写真を示す。さらに、GaSe/ $\text{In}_2\text{Se}_3$  ダブルバッファ層上に  $550^\circ\text{C}$  で成膜した GaAs 膜の欠陥を断面透過型電子顕微鏡 (TEM) で評価した。特に GaAs/GaSe 界面付近で多くの転位欠陥が観測され、さらなる GaAs 層の高品質化として転位密度低減が必要であることが示された。

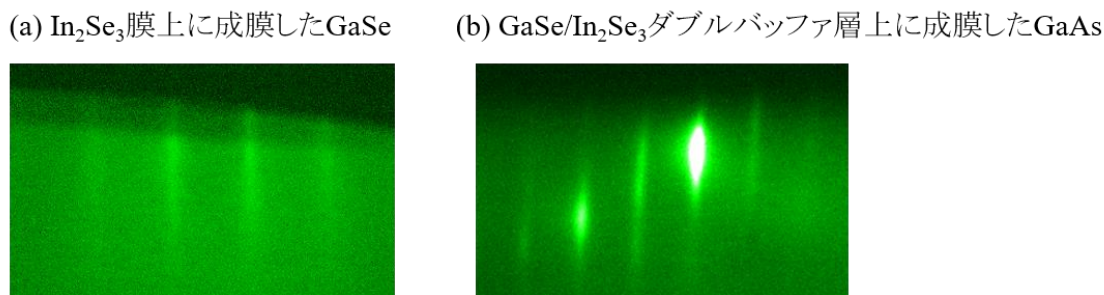


図 7 成膜中の GaSe (a), GaAs (b) の高速電子線回折 (RHEED) 像

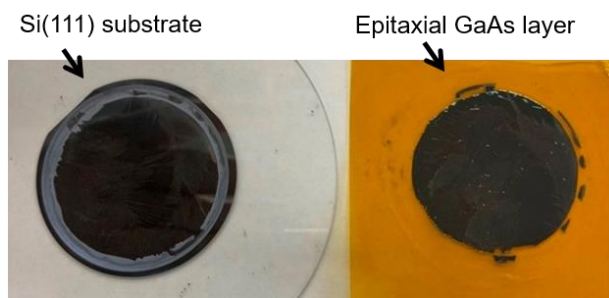


図 8 GaSe/ $\text{In}_2\text{Se}_3$  ダブルバッファ層上に  $550^\circ\text{C}$  で成膜した GaAs 膜を 2 インチ Si(111)基板から剥離してポリイミド上に移載

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Epitaxial GaAs Lift-off from Si(111) Wafer via 2D-GaSe Buffer Layer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference	6. 最初と最後の頁 615-617
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4229/EUPVSEC20202020-3C0.5.4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Epitaxial GaAs Lift Off via III-VI Layered Compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	6. 最初と最後の頁 1015-1017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/PVSC40753.2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 GaAs grown on Si (111) by inserting metal selenides films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	6. 最初と最後の頁 1068-1070
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/PVSC40753.2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Kei Kawakatsu, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 XRD Pole Figure Analysis of In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Zinc-Blende Like (ZBL) Van der Waals Template for Epitaxial GaAs Lift Off	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC7)	6. 最初と最後の頁 214 ~ 215
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/PVSC.2018.8547396	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Structural Characterization of GaAs Layer Grown on 2D-GaSe/Si(111) Substrate for Rapid Epitaxial Lift Off
3. 学会等名 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Epitaxial GaAs Lift-off from Si(111) Wafer via 2D-GaSe Buffer Layer
3. 学会等名 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Epitaxial GaAs Lift Off via III-VI Layered Compounds
3. 学会等名 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 GaAs grown on Si (111) by inserting metal selenides films
3. 学会等名 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川勝 桂、Yu-Cian Wang、小島 信晃、大下 祥雄、山口 真史
2. 発表標題 Si(111)微傾斜基板上2D-In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> 成膜に基板オフ方向が与える影響
3. 学会等名 第16回次世代の太陽光発電システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Akio Yamamoto, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Improved GaAs quality on 4° vicinal Si(111) with metallic selenides buffers by annealing GaAs at the initial growth
3. 学会等名 第16回次世代の太陽光発電システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島 信晃、Wang Yu-Cian、川勝 桂、山本 嵩勇、大下 祥雄、山口 真史
2. 発表標題 2D-In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> を利用したSi(111)上GaAsエピ層の薄層剥離
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Metallic selenides as the buffers for GaAs grown on Si (111)
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 川勝 桂、Yu-Cian Wang、小島 信晃、大下 祥雄、山口 真史
2. 発表標題 Si(111)微傾斜基板のオフ方向が2D-In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> 薄膜の結晶方位に与える影響
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Heat-resistant 2D-metal Selenides as a Mechanical Cleavage Layer for the GaAs Lift-off
3. 学会等名 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Kawakatsu, Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Effect of the off-cut Direction of Si(111) Substrate on 2D-In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Twin Formation as a Mechanical Cleavage Layer for the GaAs Lift-off
3. 学会等名 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Multi-step Growth of GaAs on 4° Vicinal Si (111) with Metallic Selenide Buffers
3. 学会等名 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 GaAs Epitaxial Layers Grown on Ga <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> /In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> for Epitaxial Lift-off by Using Cleavage of -In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Layered Structures
3. 学会等名 The 7th Korea-Japan Joint Seminar on PV (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川勝 桂、ワン ユ チェン、小島信晃、大下祥雄、山口真史
2. 発表標題 層状化合物In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> エピタキシャル膜の双晶ドメイン評価
3. 学会等名 第15回次世代の太陽光発電システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yu-Cian Wang, Nobuaki Kojima, Kei Kawakatsu, Akio Yamamoto, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 Mechanical epitaxial lift off of GaAs epitaxial layers by using cleavage of In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> layered structures
3. 学会等名 第15回次世代の太陽光発電システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuaki Kojima, Yu-Cian Wang, Kei Kawakatsu, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi
2. 発表標題 XRD Pole Figure Analysis of In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Zinc-Blende Like (ZBL) Van der Waals Template for Epitaxial GaAs Lift Off
3. 学会等名 World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------