

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I			
C30B 15/02		C30B 15/02			
// C30B 29/40	501	29/40	501	A	

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全9頁)

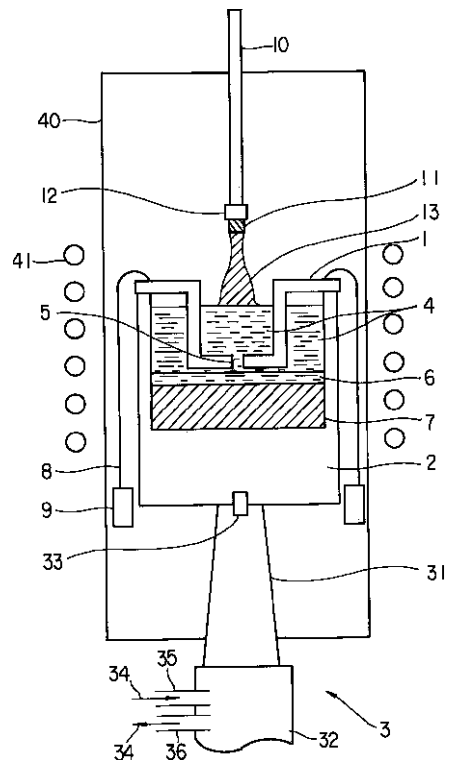
(21)出願番号	特願平10 - 71576	(71)出願人	391012246 静岡大学長 静岡県静岡市大谷836
(22)出願日	平成10年(1998)3月20日	(72)発明者	熊川 征司 静岡県袋井市小川町8 - 19
		(72)発明者	早川 泰弘 静岡県浜松市広沢3 - 8 - 1
		(74)代理人	弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

(54) 【発明の名称】 結晶成長方法および装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 容易に所望の組成の結晶を得ることが可能な結晶成長方法を提供する。

【解決手段】 結晶の溶液4より結晶13を成長させる方法であって、成長させる結晶13の少なくとも1つの構成元素からなる成分溶液6を超音波によって該結晶溶液4へ供給しながら、該結晶溶液4より結晶13を成長させることを特徴とする方法。超音波振動の出力を変えることで結晶溶液に供給される成分溶液の量を変えることができ、組成を変えることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 結晶の溶液より結晶を成長させる方法であって、

成長させる結晶の少なくとも 1 つの構成元素からなる成分溶液を超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることを特徴とする方法。

【請求項 2】 結晶の溶液より結晶を成長させる方法であって、

成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる不純物溶液を超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることを特徴とする方法。

【請求項 3】 成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる該不純物溶液とともに成長させる結晶の少なくとも 1 つの構成元素からなる成分溶液をさらに超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることを特徴とする請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】 結晶の溶液から結晶を成長させるための第 1 の容器と、

第 1 の容器と連通し、成長させる結晶の少なくとも 1 つの構成元素からなる成分溶液を収容するための第 2 の容器と、

第 2 の容器から第 1 の容器へ成分溶液を送るように超音波を発生させるための超音波発生手段とを具備することを特徴とする結晶成長装置。

【請求項 5】 結晶の溶液から結晶を成長させるための第 1 の容器と、

第 1 の容器と連通し、成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる不純物溶液を収容するための第 2 の容器と、

第 2 の容器から第 1 の容器へ不純物溶液を送るように超音波を発生させるための第 1 の超音波発生手段とを具備することを特徴とする結晶成長装置。

【請求項 6】 該第 1 の容器と連通し、成長させる結晶の少なくとも 1 つの構成元素からなる成分溶液を収容するための第 3 の容器と、

第 3 の容器から第 1 の容器へ成分溶液を送るように超音波を発生させるための第 2 の超音波発生手段とをさらに具備することを特徴とする請求項 5 記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶を成長させる方法および装置に関し、特に所望の組成または不純物濃度を有する結晶を成長させる方法および装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】InGaAs、InGaSbなどのバルク混晶半導体は、発光・受光デバイス用の結晶薄膜を成長させる基板材料として極めて重要である。それは、混晶半導体の組成を変えるとその格子定数が変化するため、結晶薄膜の格子定数と整合させることで、格子不整合による結晶欠陥が薄膜に導入されるのを抑えることが

できるからである。

【0003】従来、バルク混晶半導体の組成を変える方法として、この半導体結晶を成長させるときに、混晶半導体の少なくとも 1 つの構成元素からなる成分溶液を、小孔を通して混晶半導体の結晶溶液に供給することが行われている。小孔の大きさを変えれば結晶溶液に供給される成分溶液の量を変えることができるため、組成の異なる混晶半導体結晶を成長させることができる。

【0004】しかし、この方法では、所望の組成の混晶半導体結晶を得ることは容易ではない。通常、所望の組成を得る最適な小孔の大きさを決めるために、あらかじめ小孔の大きさと結晶の組成との間の対応関係を求めておく必要があるが、この方法においてはこの対応関係を求める作業が煩雑である。つまり、異なる大きさの小孔を用いて何度も結晶成長させ、成長した結晶のそれぞれについて組成を測定して、対応関係を求めなければならぬからである。

【0005】一方、Si（シリコン）などの半導体結晶にB（ボロン）などのドーピング用不純物元素を導入する方法として、上述のように小孔を通して、不純物元素の溶液を半導体の結晶溶液に供給しながら、結晶溶液から半導体を結晶成長させることが試みられている。小孔の大きさを変えれば不純物溶液の供給量を変えることができるため、不純物濃度の異なる半導体結晶を成長させることができる。

【0006】しかし、この方法においても、所望の不純物濃度の半導体結晶を得るのは容易ではない。やはり、あらかじめ小孔の大きさを変えて何度も結晶成長させ、成長した結晶のそれぞれについて不純物濃度を測定しておかなければ、所望の不純物濃度を得る最適な小孔の大きさを決めることができないからである。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の課題は、容易に所望の組成の結晶を得ることが可能な結晶成長方法および装置、ならびに容易に所望の不純物濃度を有する結晶を得ることが可能な結晶成長方法および装置を提供することである。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明においては、結晶を成長させる際に超音波振動を加えながら成分溶液を結晶溶液へ供給することとした。

【0009】超音波振動の出力を変えることで、小孔の大きさを変えずに結晶溶液に供給される成分溶液の量を変えることができる。従って、結晶成長中に超音波出力を段階的に変化させれば、成長方向に沿って組成が段階的に変化している結晶を成長させることができる。それぞれの段階の組成を測定し、それぞれの段階での超音波出力と対応させれば、組成と超音波出力との間の対応関係を即座に求めることができる。この対応関係をもとに

所望の組成を得るための最適な超音波出力の大きさを決め、この出力の超音波を最初から加えながら結晶を成長させれば、容易に所望の組成の結晶を得ることが可能となる。すなわち、あらかじめ行う結晶成長および測定は一度だけで良い。

【0010】また、同様にして、結晶を成長させる際に超音波振動を加えながら不純物元素の溶液を結晶溶液へ供給することとした。超音波振動の出力を変えることで、小孔の大きさを変えずに結晶溶液に供給される不純物元素の溶液の量を変えることができる。従って、結晶成長中に超音波出力を段階的に変化させれば、成長方向に沿って不純物濃度が段階的に変化している結晶を成長させることができる。それぞれの段階の不純物濃度を測定し、それぞれの段階での超音波出力と対応させれば、不純物濃度と超音波出力との対応関係を即座に求めることができる。この対応関係をもとに、所望の不純物濃度を得るための最適な小孔の大きさを求めることができる。すなわち、あらかじめ結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の不純物濃度を有する結晶を得ることが可能となる。

【0011】すなわち、本発明によれば、結晶の溶液より結晶を成長させる方法であって、成長させる結晶の少なくとも1つの構成元素からなる成分溶液を超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることを特徴とする方法が提供される。

【0012】また、本発明によれば、結晶の溶液より結晶を成長させる方法であって、成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる不純物溶液を超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることを特徴とする方法が提供される。

【0013】本発明においては、成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる該不純物溶液とともに成長させる結晶の少なくとも1つの構成元素からなる成分溶液をさらに超音波によって該結晶溶液へ供給しながら、該結晶溶液より結晶を成長させることが好ましい。

【0014】さらに、本発明によれば、結晶の溶液から結晶を成長させるための第1の容器と、第1の容器と連通し、成長させる結晶の少なくとも1つの構成元素からなる成分溶液を収容するための第2の容器と、第2の容器から第1の容器へ成分溶液を送るように超音波を発生させるための超音波発生手段とを具備することを特徴とする結晶成長装置が提供される。

【0015】さらに、本発明によれば、結晶の溶液から結晶を成長させるための第1の容器と、第1の容器と連通し、成長させる結晶へ導入すべき不純物元素からなる不純物溶液を収容するための第2の容器と、第2の容器から第1の容器へ不純物溶液を送るように超音波を発生させるための第1の超音波発生手段とを具備することを特徴とする結晶成長装置が提供される。

【0016】本発明においては、該第1の容器と連通

し、成長させる結晶の少なくとも1つの構成元素からなる成分溶液を収容するための第3の容器と、第3の容器から第1の容器へ成分溶液を送るように超音波を発生させるための第2の超音波発生手段とをさらに具備することが好ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明を詳細に説明する。

【0018】本発明に係る結晶成長方法においては、結晶を融解などさせて作成した結晶溶液から、引上げ法などによって結晶を成長させる。

【0019】本方法によって、所望の組成を有する結晶、および所望の不純物濃度を有する結晶をそれぞれ成長させることができる。それぞれの結晶成長方法について、以下に説明する。

【0020】まず、所望の組成を有する結晶を成長させる方法について説明する。

【0021】この方法において成長させる結晶は、組成の変化し得る二元以上の化合物であり、半導体または絶縁物など特に限定されない。例えば、 $\text{InGaSb}$ 、 $\text{InGaAs}$ などの三元混晶半導体、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ などの高温超伝導体用絶縁物などが挙げられる。

【0022】結晶溶液に、成長させる結晶の少なくとも1つの構成元素から融解などによって作成した成分溶液を、所定の出力の超音波によって供給しながら、結晶溶液から所望の組成を有する結晶を成長させる。

【0023】結晶溶液としては、成長させる結晶そのものから作成しても良いし、または、成長させる結晶の一部の成分から作成しても良い。

【0024】例えば、 $\text{InGaSb}$ 結晶を成長させる場合、結晶溶液としては $\text{InGaSb}$ 結晶そのものから作成しても良いし、または、 $\text{InGaSb}$ 結晶の一部の成分、例えば、 $\text{In}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Sb}$ 、もしくは、 $\text{GaSb}$ 、 $\text{InSb}$ から作成しても良い。

【0025】成分溶液は、成長させる結晶、所望する結晶の組成、および結晶溶液に応じて選択する。

【0026】例えば、 $\text{InGaSb}$ 結晶を成長させる際に $\text{InGaSb}$ から作成した結晶溶液を用いる場合には、成分溶液としては以下のように選択することができる。例えば、 $\text{In}$ 組成比を変えた $\text{InGaSb}$ 結晶を成長させる場合には、成分溶液としては $\text{In}$ もしくは $\text{GaSb}$ からなる溶液を選択する。 $\text{Ga}$ 組成比を変えた $\text{InGaSb}$ 結晶の場合には、成分溶液としては $\text{Ga}$ もしくは $\text{InSb}$ を選ぶ。

【0027】また、 $\text{InGaSb}$ 結晶を成長させる際に $\text{InGaSb}$ 結晶の一部の成分から作成した結晶溶液を用いる場合には、成分溶液は以下のように選択することができる。

【0028】例えば、 $\text{In}$ 組成比を変えた $\text{InGaSb}$ 結晶を成長させる場合には、結晶溶液として $\text{In}$ を選択し成分溶液として $\text{GaSb}$ もしくは $\text{InGaSb}$ を選択

10

20

30

40

50

するか、または、結晶溶液としてGaSbを選択し成分溶液としてInもしくはInGaSbを選択することができる。

【0029】また、例えば、Ga組成比を変えたInGaSb結晶を成長させる場合には、結晶溶液としてGaを選択し成分溶液としてInSbもしくはInGaSbを選択するか、または、結晶溶液としてInSbを選択して成分溶液としてGaもしくはInGaSbを選択することができる。

【0030】本方法においては、結晶を成長させる際に印加する超音波振動の出力を変えることで、結晶の組成を変化させることができる。

【0031】つまり、超音波出力を増加させれば結晶溶液へ供給される成分溶液の量が増加し、成分溶液をなす元素の結晶内での組成比が増加する。また、逆に超音波の出力を減少させれば結晶溶液へ供給される成分溶液の量が減少し、成分溶液をなす元素の結晶内での組成比が減少する。このようにして、超音波出力を変えることで、結晶の組成を変えることができる。

【0032】本方法においては、まず、結晶成長中に印加する超音波の出力を段階的または連続的に変化させながら、結晶溶液から結晶を成長させる。このように成長させることで、成長方向に沿って組成が段階的または連続的に変化している結晶が得られる。

【0033】成長した結晶を取出して、成長方向に沿ってそれぞれの段階ごとにまたは所定の複数の箇所て組成を測定する。そして、それぞれの段階ごとにまたは所定の複数の箇所において加えた超音波出力と対応させれば、結晶の組成と超音波出力との間の対応関係を即座に求めることができる。この対応関係をもとにして、所望の組成を得るための最適な超音波出力の大きさを求めることができる。

【0034】次に、このようにして決定した最適な出力の超音波振動を最初から加えながら、再び結晶成長を行わせることで、所望の組成を有する結晶を再現性良く得ることができる。

【0035】以上のように、本方法においては、あらかじめ結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の組成の結晶を得ることが可能である。

【0036】次に、所望の不純物濃度を有する結晶を成長させる方法について説明する。

【0037】この方法において成長させる結晶は、その電気的特性などを最適なものとするために不純物を導入し得る結晶であり、例えば、Si、GaAs、およびInGaSbなどが挙げられる。

【0038】成長させる結晶から融解などによって作成した結晶溶液に、成長させる結晶に導入すべき不純物元素から融解などによって作成した不純物溶液を、所定の超音波によって供給しながら、結晶溶液から所望の不純物濃度を有する結晶を成長させる。

【0039】不純物元素は、成長させる結晶に応じて選択する。

【0040】例えば、Si結晶を成長させる場合には、不純物元素としてはB（ボロン）、As（ヒ素）、P（リン）、およびSb（アンチモン）などが挙げられる。また、例えばGaAs結晶を成長させる場合には、不純物元素としてはCr（クロム）、Si、Te（テルル）およびZn（亜鉛）などが挙げられる。また、例えばInGaSbの場合にはTe、Znなどが挙げられる。

【0041】本方法においては、結晶を成長させる際に印加する超音波振動の出力を変えることで、不純物溶液をなす不純物元素の結晶内での濃度を変化させることができる。

【0042】つまり、超音波出力を増加させれば結晶溶液へ供給される不純物溶液の量が増加し、結晶内での不純物元素の濃度が増加する。また、逆に超音波の出力を減少させれば結晶溶液へ供給される不純物溶液の量が減少し、不純物濃度が減少する。

【0043】本方法においては、まず、結晶成長中に印加する超音波の出力を段階的または連続的に変化させながら、結晶溶液から結晶を成長させる。このように成長させると、成長方向に沿って不純物濃度が段階的または連続的に変化している結晶が得られる。

【0044】成長した結晶を取出して、成長方向に沿ってそれぞれの段階ごとにまたは所定の複数の箇所て不純物濃度を測定する。そして、それぞれの段階ごとにまたは所定の箇所において加えた超音波出力と対応させれば、不純物濃度と超音波出力との間の対応関係を即座に求めることができる。この対応関係をもとにすれば、所望の不純物濃度を得るための最適な超音波出力の大きさを求めることができる。

【0045】次に、このようにして決定した最適な出力の超音波振動を最初から加えながら、再び結晶成長を行わせることで、所望の不純物濃度を有する結晶を再現性良く得ることができる。

【0046】以上のように、本方法においては、あらかじめ結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の不純物濃度の結晶を得ることが可能である。

【0047】なお、ここで述べた所望の不純物濃度を有する結晶を成長させる方法を、前述の所望の組成を有する結晶を成長させる方法と併用して行なっても良い。

【0048】つまり、結晶溶液に、不純物溶液とともに前述の成分溶液を所定の出力の超音波によって供給しながら、結晶溶液から所望の不純物濃度および組成を有する結晶を成長させても良い。

【0049】その際、超音波発生手段を2つ使用して、結晶溶液へ不純物溶液を供給するための超音波と、結晶溶液へ成分溶液を供給するための超音波とを、別々に印加しても良い。

【 0 0 5 0 】超音波を別々に印加できれば、結晶の不純物濃度と超音波出力との対応関係、および結晶の組成と超音波出力との対応関係を、あらかじめ別々に求めることができる。それぞれの対応関係から、所望の不純物濃度および所望の組成を得るための最適な超音波出力を別々に決定し、決定したそれぞれの最適な超音波出力を印加しながら結晶成長させることで、所望の不純物濃度および所望の組成を有する結晶を得ることが可能となる。

【 0 0 5 1 】次に、上記 2 つの方法をそれぞれ実施するための結晶成長装置について説明する。

【 0 0 5 2 】まず、所望の組成を有する結晶を成長させるための装置について、図 1 を参照して説明する。図 1 は、このような装置の一例を示す概略断面図である。

【 0 0 5 3 】この装置は、単結晶を引上げるための二重ルツボを用いた結晶成長装置である。装置は、内ルツボ 1、外ルツボ 2、および超音波発生装置 3 を具備する。

【 0 0 5 4 】内ルツボ 1 は、結晶溶液 4 を収容するためのものである。内ルツボ 1 は例えば炭素からなり、底面に小孔 5 を有している。

【 0 0 5 5 】内ルツボ 1 は、外ルツボ 2 の中に挿入されるようになっている。

【 0 0 5 6 】外ルツボ 2 は例えば炭素からなり、結晶成長中に結晶溶液 4 へ供給する成分溶液 6、および融解などによって成分溶液 6 を作成する成分原料 7 を収容するためのものである。成分原料 7 は、成長させる結晶の少なくとも 1 つの構成元素からなる。成分溶液 6 は、内ルツボ 1 の底辺の小孔 5 を通して、結晶成長中に外ルツボ 2 から内ルツボ 1 に供給できるようになっている。

【 0 0 5 7 】内ルツボ 1 にはワイヤー 8 を介して重り 9 が繋がれており、この重り 9 は外ルツボ 2 の外側に吊下げられるようになっている。

【 0 0 5 8 】また、内ルツボ 1 の上部には、上下移動可能な結晶引上げ軸 1 0 が吊下げられている。結晶引上げ軸 1 0 の下端には、種結晶 1 1 を装着するための種結晶ホルダー 1 2 が取付けられている。種結晶 1 1 を結晶溶液 4 に接触させて引上げることで、単結晶 1 3 を成長させることができる。

【 0 0 5 9 】内ルツボ 1 の底面に超音波発生装置 3 が取付けられている。超音波発生装置 3 は、成分溶液 6 を結晶溶液 4 中に送るための超音波を発生させるためのものである。超音波発生装置 3 は、超音波振動部 3 1、および冷却部 3 2 からなる。

【 0 0 6 0 】超音波振動部 3 1 としては、例えば、コイルを巻いたニッケル製またはフェライト製の振動子をホーンに接続したものをを用いる。コイルに電流を流して振動子を駆動し、超音波を発生させる。超音波の発振周波数としては例えば 1 0 k H z、発振出力としては例えば最大 1 5 0 W、振幅としては例えば 1 μ m のものをを用いる。

【 0 0 6 1 】超音波振動部 3 1 の先端は、連結用ネジ 3

3 によって外ルツボ 2 の底面に接続されている。超音波振動部 3 1 を駆動させると超音波が発生し、発生した超音波は外ルツボ 2 の底面を通過して、上方の内ルツボ 1 へ向かって進む。この超音波によって、外ルツボ 2 の成分溶液 6 が、小孔 5 を通って内ルツボ 1 の結晶溶液 4 の表面に向かって送られる。

【 0 0 6 2 】冷却部 3 2 は超音波振動部 3 1 の他端に接続されている。冷却部 3 2 には、超音波振動部 3 1 を冷却する冷却水 3 4 を流すための冷却水入口 3 5、および冷却水出口 3 6 が接続されている。

【 0 0 6 3 】なお、本発明に係る結晶成長装置において、上述の内ルツボ 1、外ルツボ 2、および超音波発生装置 3 の配置は、外ルツボ 2 の成分溶液 6 を超音波によって内ルツボ 1 の結晶溶液 4 へ供給できるような配置であれば、特に制限されない。

【 0 0 6 4 】つまり、図 1 の装置においては、内ルツボ 1 の下に外ルツボ 2 があり、その外ルツボ 2 の底面に超音波発生装置 3 が接続されているが、それ以外の配置でも良い。例えば、内ルツボ 1 の横に外ルツボ 2 が並んで配置され、その外ルツボ 2 の横に超音波発生装置 3 が取付けられて、超音波が横方向に送られるようになっているても良い。

【 0 0 6 5 】また、外ルツボ 2 および超音波発生装置 3 はそれぞれ複数配置されていても良い。例えば、内ルツボ 1 の下に第 1 の外ルツボが配置されてこの第 1 の外ルツボの底面に第 1 の超音波発生装置が取付けられるとともに、内ルツボ 1 の横に第 2 の外ルツボが配置されてこの第 2 の外ルツボの横に第 2 の超音波発生装置が取付けられていても良い。そして、第 1 および第 2 の超音波発生装置を駆動させて、第 1 および第 2 の外ルツボのそれぞれに収容された成分溶液を、内ルツボ 1 の底面および側面に設けられた小孔 5 を通して、内ルツボ 1 の結晶溶液 4 に供給しても良い。

【 0 0 6 6 】なお、外ルツボ 2 が複数ある場合、それぞれの外ルツボ 2 には、例えば成長させる結晶の異なる構成元素からなる成分溶液をそれぞれ収容することができる。

【 0 0 6 7 】以上の内ルツボ 1、外ルツボ 2、および超音波発生装置 3 は、石英管 4 0 の中に気密に収納されている。

【 0 0 6 8 】石英管 4 0 の中は、単結晶 1 3 が酸化しない雰囲気、例えば、高純度水素、または窒素と水素の混合ガスの雰囲気になっている。結晶引上げ軸 1 0 は、石英管 4 0 に気密に接続されながら上下移動する。超音波振動部 3 1 も、冷却部 3 2 が石英管 4 0 の外部に出るように、石英管 4 0 に気密に接続されている。石英管 4 0 の外周には、内ルツボ 1 および外ルツボ 2 を誘導加熱するための高周波コイル 4 1 が巻かれている。

【 0 0 6 9 】次に、所望の不純物濃度を有する結晶を成長させるための装置について説明する。このような装置

の一例としては、図 1 に示した装置と同様の構成を用いたものが挙げられる。つまり、内ルツボ 1、外ルツボ 2、および超音波発生装置 3 を具備した構成である。

【 0 0 7 0 】より具体的には、図 1 の装置において、内ルツボ 1 には結晶溶液 4 を収容させる。外ルツボ 2 には成分溶液 6 の代わりに不純物溶液を収容させ、また成分原料 7 の代わりに不純物元素を収容させる。不純物元素を融解などして、不純物溶液を作成する。そして、結晶成長中に超音波発生装置 3 を駆動させて、不純物溶液を、内ルツボ 1 の小孔 5 を通して外ルツボ 2 から内ルツボ 1 の結晶溶液 4 の表面へと供給する。その他の構成については、図 1 と同様である。

【 0 0 7 1 】なお、このような装置においても前述と同様に、上述の内ルツボ 1、外ルツボ 2、および超音波発生装置 3 の配置は、外ルツボ 2 の不純物溶液を超音波によって内ルツボ 1 の結晶溶液 4 へ供給できるような配置であれば、特に制限されない。

【 0 0 7 2 】また、前述と同様に、外ルツボ 2 および超音波発生装置 3 はそれぞれ複数あっても良い。

【 0 0 7 3 】外ルツボ 2 が複数ある場合には、それぞれの外ルツボには、例えば成長させる結晶に導入するべき異なる不純物元素からなる不純物溶液をそれぞれ収容することができる。そして、それぞれの外ルツボに接続された超音波発生装置を駆動させて、異なる不純物元素からなる不純物溶液を結晶溶液 4 に供給することができる。

【 0 0 7 4 】または、外ルツボ 2 が複数ある場合に、不純物溶液および前述の成分溶液をそれぞれの外ルツボに収容しても良い。そして、それぞれの外ルツボ 2 に取付けられた超音波発生装置を駆動させて、不純物溶液とともに成分溶液を結晶溶液 4 に供給しても良い。

【 0 0 7 5 】なお、不純物溶液および成分溶液を 1 つの外ルツボに収容し、この外ルツボに取付けた超音波発生装置を駆動させて、不純物溶液とともに成分溶液を結晶溶液 4 に供給するようにしても良い。

【 0 0 7 6 】次に、上述したそれぞれの装置を用いて、結晶を成長させる方法について説明する。

【 0 0 7 7 】まず、所望の組成を有する結晶を成長させる方法について説明する。

【 0 0 7 8 】一例として、図 1 の装置を用いて、所望の値の In 組成比を有する InGaSb 三元混晶半導体の単結晶を成長させる方法について説明する。しかし、別の組成を有する InGaSb 結晶についても、また、InGaAs や YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> などの他の結晶についても、同様にして所望の組成を有する結晶を成長させることができることは言うまでもない。

【 0 0 7 9 】( 1 ) まず、外ルツボ 2 の中に、成分原料 7 である GaSb を入れる。後述するように、InGaSb 溶液に GaSb 溶液を供給して InGaSb 溶液中の GaSb 濃度を変えることで、成長する InGaSb

結晶の In 組成比を変えることができる。

【 0 0 8 0 】次に、GaSb 7 の上に InGaSb を装入し、さらに、これらの上に内ルツボ 1 を置いて、重り 9 を外ルツボ 2 の外側に吊下げる。

【 0 0 8 1 】( 2 ) 高周波コイル 4 1 に電流を流して、内ルツボ 1 および外ルツボ 2 を誘導加熱する。加熱は、両ルツボの温度が GaSb の融点 ( 約 7 1 2 ) と InGaSb の融点 ( 約 5 2 5 ~ 7 1 2 ) の間になるように行う。このような加熱によって、InGaSb 原料のみが融解して InGaSb 結晶溶液 4 が形成され、GaSb 7 の上に溜まる。

【 0 0 8 2 】( 3 ) 内ルツボ 1 に吊下げた重り 9 によって、内ルツボ 1 は InGaSb 溶液 4 の中に沈む。沈む結果、小孔 5 を通して InGaSb 溶液 4 が内ルツボ 1 内にも溜まる。このように小孔 5 を通して InGaSb 溶液 4 を内ルツボ内 1 に溜めることで、InGaSb が融解した際に発生する酸化物のようなスラグが内ルツボ 1 内に混入することが防止される。

【 0 0 8 3 】また、外ルツボ 2 の GaSb 7 は、InGaSb 溶液 4 と接触する部分で徐々に溶解し、成分溶液 6 である GaSb 溶液を形成する。

【 0 0 8 4 】( 4 ) 超音波振動部 3 1 を水冷しながら動作させて、超音波を発生させる。発生した超音波は、外ルツボ 2 の底面から内ルツボ 1 へ向かって導入される。導入された超音波によって、外ルツボ 2 の GaSb 溶液 6 が小孔 5 を通って内ルツボ 1 の InGaSb 溶液 4 の表面付近まで輸送される。

【 0 0 8 5 】( 5 ) 結晶引上げ軸 1 0 の下端に装着した GaSb 種結晶 1 1 を、InGaSb 溶液 4 の表面に接触させる。InGaSb 溶液 4 の温度を一定に保った上で、GaSb 種結晶 1 1 を回転させながら引上げることによって、InGaSb 単結晶 1 3 を成長させる。

【 0 0 8 6 】結晶成長させながら、超音波の出力を連続的にまたは段階的に変化させる。

【 0 0 8 7 】超音波の出力を増加させると、InGaSb 溶液 4 中に供給される GaSb 溶液 6 の量が増加する。特に、GaSb 種結晶 1 1 が接触する InGaSb 溶液 4 の表面、つまり成長界面の付近に供給される GaSb 溶液 6 の量が増加する。供給される GaSb 溶液 6 の量が増加することで、成長界面から成長する InGaSb 単結晶 1 3 の In 組成比が減少する。このように、超音波出力を増加させると In 組成比が減少する。

【 0 0 8 8 】また、逆に超音波の出力を減少させると、上述の説明から明らかなように、In 組成比が増加する。

【 0 0 8 9 】このようにして、超音波の出力を変化させることで、小孔 5 の大きさを変えずに、InGaSb 単結晶 1 3 の In 組成比を変化させることができる。

【 0 0 9 0 】こうして、結晶成長中に超音波出力を連続的または段階的に変化させることで、成長方向に沿って

I n 組成比が連続的または段階的に変化している結晶を成長させることができる。

【0091】(6) 以上のようにして成長させた I n G a S b 単結晶 1 3 を取出して、成長方向に沿ってそれぞれの段階ごとに、または所定の複数の箇所では I n 組成比を測定する。そして、それぞれの段階ごとにまたは所定の複数の箇所において加えた超音波出力と対応させることで、I n 組成比と超音波出力との間の対応関係を即座に求めることができる。

【0092】この対応関係から、所望の I n 組成比を有する I n G a S b 単結晶 1 3 を得るための最適な超音波出力の大きさを求めることができる。

【0093】(7) こうして求めた最適な超音波出力を用いて、再度、上述の(1)～(5)に従って I n G a S b 単結晶 1 3 を成長させる。その際、結晶成長させながら加える超音波振動の出力は、上述のようにして求めた最適な出力とする。このようにして、所望の I n 組成比を有する I n G a S b 単結晶 1 3 を得ることができる。

【0094】以上、説明したように、この方法においては、あらかじめ結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の組成の結晶を得ることが可能である。

【0095】また、上述のようにして求めた I n 組成比と超音波出力との間の対応関係に基づいて、超音波出力を変化させながら I n G a S b 単結晶 1 3 を成長させれば、成長方向に沿って I n 組成比を任意に変化させた I n G a S b 単結晶 1 3 を成長させることも可能である。

【0096】特に、上述のように I n G a S b 結晶溶液 4 に G a S b 成分溶液 6 を供給しながら成長させる場合などにおいては、結晶の成長に伴って超音波の出力を徐々に大きくすることによって、成長方向に沿った組成の均一性を向上させることが可能となる。通常、超音波を印加しない、または超音波出力が一定だと、I n G a S b 結晶などにおいては I n 元素の組成比が成長方向に沿って増加する傾向がある。増加する理由は、I n の偏析係数が G a や S b よりも小さいために、結晶成長中に、結晶溶液 4 内の I n 濃度が徐々に増加するからである。ここで、偏析係数とは結晶溶液 4 中の I n 濃度に対する結晶 1 3 中の I n 濃度の比を指す。そこで、結晶の成長に伴って超音波出力を徐々に大きくして G a S b 供給量を増加させれば、この I n 組成比の増加を抑えて I n 組成の均一性を向上させることが可能となる。

【0097】なお、図 1 に示した装置においては、I n 組成比と超音波出力との間の対応関係は、当然のことながら小孔 5 の大きさによって異なる。つまり、小孔 5 が大きいほど、同じ出力の超音波振動によって供給される G a S b 元素量が増加し、I n 組成比はより減少する。小孔 5 の大きさとしては、通常、占有率が約 2 . 5 % のものを用いる。ここで占有率とは、内ルツボ 1 の底面積に対する小孔 5 の面積の比を指す。

【0098】次に、所望の不純物濃度を有する結晶を成長させる方法について説明する。

【0099】一例として、図 1 に示した装置と同様の構成の装置を用いて、所望の B 濃度を有する S i 単結晶を成長させる方法について説明する。しかし、S i に他の不純物を導入する場合についても、また、G a A s や I n G a S b などの他の結晶に不純物を導入する場合についても、同様にして所望の不純物濃度を有する結晶を成長させることができることは言うまでもない。

10 【0100】(1) まず、外ルツボ 2 の中に、不純物元素である B を入れる。B の上に S i を装入し、さらに、これらの上に内ルツボ 1 を置いて、重り 9 を外ルツボ 2 の外側に吊下げる。

【0101】(2) 高周波コイル 4 1 に電流を流して、内ルツボ 1 および外ルツボ 2 を誘導加熱する。加熱は、両ルツボの温度が B の融点(約 2 3 0 0 )と S i の融点(約 1 4 1 4 )の間になるように行う。このような加熱によって、S i のみが融解して S i 結晶溶液 4 が形成され、B の上に溜まる。

20 【0102】(3) 内ルツボ 1 に吊下げた重り 9 によって、内ルツボ 1 は S i 溶液 4 の中に沈む。沈む結果、小孔 5 を通して S i 溶液 4 が内ルツボ 1 内にも溜まる。また、外ルツボ 2 の B は、S i 溶液 4 と接触する部分で徐々に溶解し、不純物溶液である B 溶液を形成する。

【0103】(4) 超音波振動部 3 1 を水冷しながら動作させて、超音波を発生させる。発生した超音波は、外ルツボ 2 の底面から内ルツボ 1 へ向かって導入される。導入された超音波によって、外ルツボ 2 の B 溶液が小孔 5 を通って内ルツボ 1 の S i 溶液 4 の表面付近まで輸送される。

30 【0104】(5) 結晶引上げ軸 1 0 の下端に装着した S i 種結晶 1 1 を、S i 溶液 4 の表面に接触させる。S i 溶液 4 の温度を一定に保った上で、S i 種結晶 1 1 を回転させながら引上げることで、単結晶の S i 単結晶 1 3 を成長させる。

【0105】結晶成長させながら、超音波の出力を連続的にまたは段階的に変化させる。

40 【0106】超音波の出力を増加させると、S i 溶液 4 中に供給される B 溶液の量を増加させることができる。特に、S i 種結晶 1 1 が接触する S i 溶液 4 の表面、つまり成長界面の付近に供給される B 溶液の量が増加する。供給される B 溶液の量が増加することで、成長界面から成長する S i 単結晶 1 3 の B 濃度が増加する。このように、超音波出力を増加させると B 濃度が増加する。逆に超音波の出力を減少させると、B 濃度が減少する。このようにして、超音波の出力を変化させることで、小孔 5 の大きさを変えずに、S i 単結晶 1 3 の B 濃度を変化させることができる。

50 【0107】こうして、結晶成長中に超音波出力を連続的または段階的に変化させることで、成長方向に沿って

B濃度が連続的または段階的に変化しているSi単結晶13を成長させることができる。

【0108】(6)以上のようにして成長させたSi単結晶13を取出して、成長方向に沿ってそれぞれの段階ごとに、または所定の複数の箇所であってB濃度を測定する。そして、それぞれの段階ごとにまたは所定の複数の箇所において加えた超音波出力と対応させることで、B濃度と超音波出力との間の対応関係を即座に求めることができる。この対応関係から、所望のB濃度を有するSi単結晶13を得るための最適な超音波出力の大きさを求めることができる。

【0109】(7)こうして求めた最適な超音波出力を用いて、再度、上述の(1)~(5)に従ってSi単結晶13を成長させる。その際、結晶成長させながら加える超音波振動の出力は、上述のようにして求めた最適な出力とする。このようにして、所望のB濃度を有するSi単結晶13を得ることができる。

【0110】以上、説明したように、この方法においても、あらかじめ結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の濃度を有する結晶を得ることが可能である。

【0111】また、上述のようにして求めたB濃度と超音波出力との間の対応関係に基づいて、超音波出力を変化させながらSi単結晶13を成長させれば、成長方向に沿ってB濃度を任意に変化させたSi単結晶13を成長させることも可能である。

【0112】特に、Si結晶にB、As、PおよびSbなどの不純物を導入するときには、結晶の成長に伴って超音波の出力を徐々に小さくすることによって、成長方向に沿った不純物濃度の均一性を向上させることが可能となる。通常、超音波を印加しない、または超音波振動が一定だと、Si結晶の不純物濃度が成長方向に沿って増加する傾向がある。増加する理由は、上述の不純物元素の偏析係数が1よりも小さいために、結晶成長中に、Si結晶溶液4内の不純物濃度が徐々に増加するからである。ここで、偏析係数とは結晶溶液4中の不純物元素の濃度に対する結晶13中の不純物濃度の比を指す。そこで、結晶の成長に伴って超音波出力を徐々に小さくして不純物元素の供給量を減少させれば、不純物濃度の増加を抑えて不純物濃度の均一性を向上させることが可能となる。

【0113】なお、図1に示した装置においては、Bなどの不純物濃度と超音波出力との間の対応関係は、当然のことながら小孔5の大きさによって異なる。つまり、小孔5が大きいほど、同じ出力の超音波振動によって供給されるB元素量が増加し、B濃度はより減少する。小孔5の大きさとしては、通常、占有率が約2.5%のものを用いる。ここで占有率とは、内ルツボ1の底面積に対する小孔5の面積の比を指す。

【0114】また、以上説明してきた、本発明に係る所

望の組成を有する結晶の成長方法および所望の不純物濃度を有する結晶の成長方法においては、結晶成長中に超音波振動を導入することによって、結晶溶液4を超音波振動によって攪拌しながら結晶成長させることができるという効果もある。結晶成長中の攪拌によって、単結晶13と結晶溶液4との界面近傍で組成的過冷却が生じることを抑制することができる。組成的過冷却が抑制されることで多結晶の発生が抑えられるため、より欠陥の少ない単結晶を得ることが可能となる。

10 【0115】

【実施例】以下、本発明の実施例を前述の図面を参照して具体的に説明する。

【0116】図1に示した装置を用いて、前述した所望の組成を有する結晶の成長方法に従って、GaSb溶液を超音波によって供給しながらInGaSb単結晶を成長させた。内ルツボ1には、小孔5の占有率が2.5%のものを使用した。

20 【0117】結晶成長の開始時は、超音波発生装置3は動作させず、結晶成長が固化率約2%になった時点で超音波発生装置3を動作させた。固化率とは、結晶溶液4中のInGaSb量に対する単結晶13中のInGaSb量の比を指す。また、超音波振動の出力は30Wとし、周波数は10kHzとした。

【0118】固化率が約7%になった時点で結晶成長を止めた。取出したInGaSb単結晶13について、成長方向に沿って複数の箇所であってIn組成比を測定した。測定はEPMAによって行った。図2に測定結果を示す。

30 【0119】図2から明らかなように、超音波を導入することによってGaSb溶液6が供給され、InGaSb単結晶13のIn組成比が段階的に減少している。

【0120】図2の結果をもとに、In組成比と超音波出力との間の対応関係を求めた。図3にその結果を示す。

【0121】図3の対応関係から、所望のIn組成比を有するInGaSbを得るための超音波出力の値を決定した。そして、決定した超音波出力を結晶の開始時から加えながら、再度InGaSb単結晶を成長させた。

40 【0122】再度成長させたInGaSb単結晶について、成長方向に沿ってIn組成比を測定したところ、成長方向に沿って所望のIn組成比を均一に有していることが確認された。

【0123】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明によって、容易に所望の組成の結晶を得ることが可能な結晶成長方法および装置、ならびに容易に所望の不純物濃度を有する結晶を得ることが可能な結晶成長方法および装置が提供される。その結果、結晶成長および測定を一度だけ行うだけで、容易に所望の組成または不純物濃度の結晶を得ることが可能となり、結晶の製造コストが減少する等の効果を奏する。

50



【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る結晶成長装置の一例を示す概略断面図。

【図 2】本実施例における固化率に対する In 組成比の変化を測定した結果を示す図。

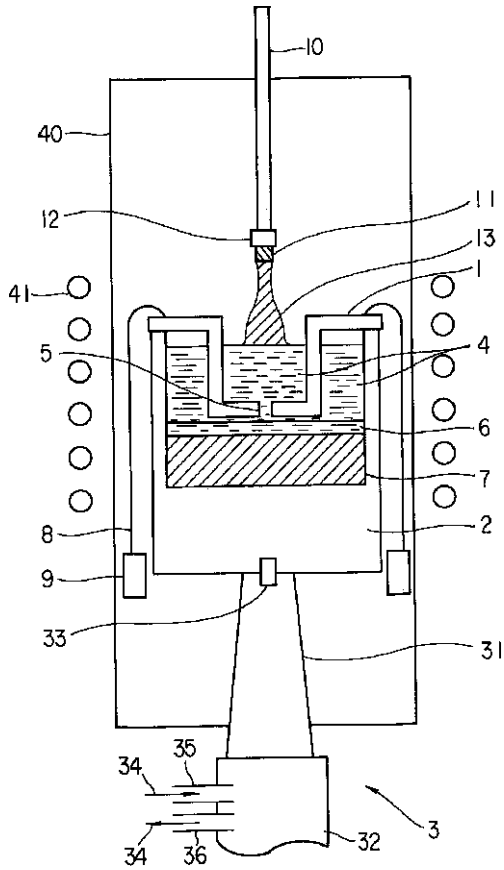
【図 3】本実施例における In 組成比と超音波出力との間の対応関係を示す図。

【符号の説明】

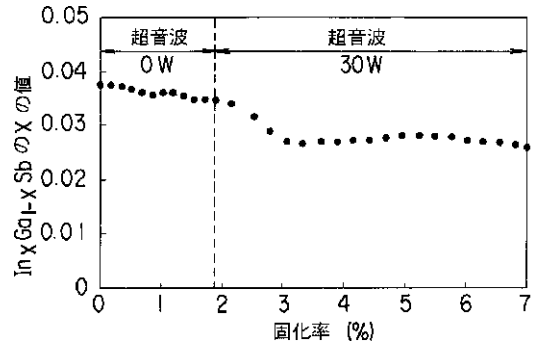
- 1 ...内ルツボ
- 2 ...外ルツボ
- 3 ...超音波発生装置
- 4 ...結晶溶液
- 5 ...小孔
- 6 ...成分溶液
- 7 ...成分原料

- 8 ...ワイヤー
- 9 ...重り
- 10 ...結晶引上げ軸
- 11 ...種結晶
- 12 ...種結晶ホルダー
- 13 ...単結晶
- 31 ...超音波振動部
- 32 ...冷却部
- 33 ...連結用ネジ
- 10 34 ...冷却水
- 35 ...冷却水入口
- 36 ...冷却水出口
- 40 ...石英管
- 41 ...高周波コイル

【図 1】



【図 2】



【図 3】

