

整理番号	H27-J-209	報告者氏名	藤川 紗千恵
------	-----------	-------	--------

研究課題名

Sb系半導体材料を用いた中赤外発光デバイスの研究

<代表研究者> 機関名：東京電機大学 職名：助教 氏名：藤川紗千恵

<共同研究者> 機関名： 職名： 氏名：
 機関名： 職名： 氏名：
 機関名： 職名： 氏名：
 機関名： 職名： 氏名：

<研究内容・成果等の要約>

本研究では、InSbよりエネルギーバンドギャップが小さいと考えられるInSbN希薄窒化物半導体の物性を明らかにするとともに、それを用いた新規省電力高効率型中-遠赤外線領域の高温動作小型光源・検出器を目指して研究を行った。

InSbN薄膜の結晶成長には、MOCVD法を用いて作製を行った。最初に、成長前に必要とされるGaAs基板の酸化膜脱離についてH₂、N₂、TMSb(Sb)を各々用いて表面状態への影響を調査した。結果、ノマルスキー顕微鏡では、H₂とN₂ではほとんど差がなく、Sbでは表面に欠陥と思われる凹凸が多数確認された。また、AFM像よりH₂を用いた場合にRMS値が一番小さく、表面がきれいであることを確認した。さらに、GaAs基板上にInSb薄膜を成長し、XRD測定で2θ-ωスキャンを行った。結果、スペクトルのピークは56.8°であり、InSb薄膜の結晶ピークの文献値である56.7°付近にピークが観察された。

次に、InSb薄膜に窒素を導入してInSbN薄膜を作製し、NH₃ガスの流量を変化させ試料の各特性評価を行った。InSb薄膜に窒素が導入されたかを判断するために、XRDを用いてInSbNの結晶ピークの測定を行った。結果、InSbNのスペクトルがInSbのスペクトル位置からシフトしており、窒素が導入されていることが確認できた。また、InSbNのピークはInSbよりもわずかにGaAs側にシフトしており格子定数が小さくなっていることが観測された。また、NH₃流量が25、100、500sccmでは結晶ピークが観測されたが、2000sccm以上になると結晶ピークが観察されなかった。これは、閃亜鉛型構造からウルツ鉱型構造に変化したものと考えている。これらの結果から、InSbN結晶の作製が可能であることがわかり、NH₃の流量制御によりナローバンドギャップ化が可能で、中赤外線デバイスも実現可能であることが示唆できた。今後、バルク結晶のPLスペクトルの観測とデバイス作製に向けて、成長レートの高速化やp型・n型化を試みてデバイス作製を行う予定である。

<研究発表（口頭、ポスター、誌上別）>

なし

<研究の目的、経過、結果、考察（5000 字程度、中間報告は 2000 字程度）>

波長 3~15 μm の中赤外線から遠赤外線波長領域は、各種物質の吸収領域でありガス検知や人命救助等の応用が期待される。しかし、現在その領域における波長選択可能で高輝度な発光光源は存在しない。本研究では、InSb よりエネルギーバンドギャップが小さいと考えられる InSbN 希薄窒化物半導体の物性を明らかにするとともに、それを用いた新規省電力高効率型中-遠赤外線領域の高温動作小型光源を目指して研究を行った。

試料は、SI-GaAs(001) JUST 基板上に有機金属気相成長（metal organic chemical vapor deposition : MOCVD）法を用いて成長を行った。結晶成長材料には、trimethylindium-di-In-propylamineadduct (TMIn-adduct)、trimethyl antimony (TMSb)、ammonia (NH₃) を使用した。まず、酸化膜脱離として GaAs 基板の基板温度上昇時に H₂、N₂、TMSb(Sb)を各々用いてフローを 10 分間行い、表面状態にどのような影響を与えるのかを調査した。図 1 には、光学顕微鏡で観察した(a)GaAs 基板、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、(d)Sb フロー後の表面写真を示す。H₂ フローと N₂ フローではほとんど差がなく、Sb フローでは表面に欠陥と思われる凹凸が多数確認された。図 2 は、AFM 測定により観測した(a)GaAs 基板、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、(d)Sb フロー後の表面像を示す。走査範囲は、500nm×500nm で行った。AFM 像より、H₂ を用いた場合に RMS(自乗平均粗さ)が一番小さいことがわかり、Sb フローでは、RMS (Root Mean Square : 自乗平均面粗さ) 値が 2 倍程悪化したことが観測された。さらに、走査範囲 20 μm ×20 μm で測定した Sb を用いた表面の RMS については、AFM の大きな凹凸が見られた。

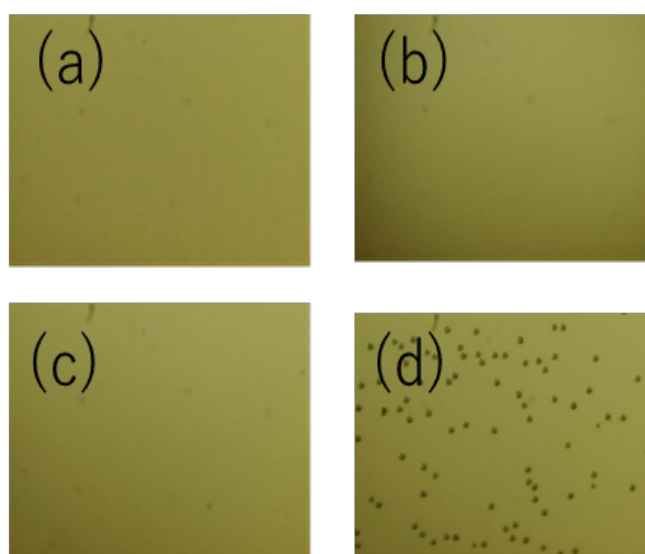


図 1、GaAs 基板表面の光学顕微鏡観察写真
(a)成長前、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、(d)Sb フロー

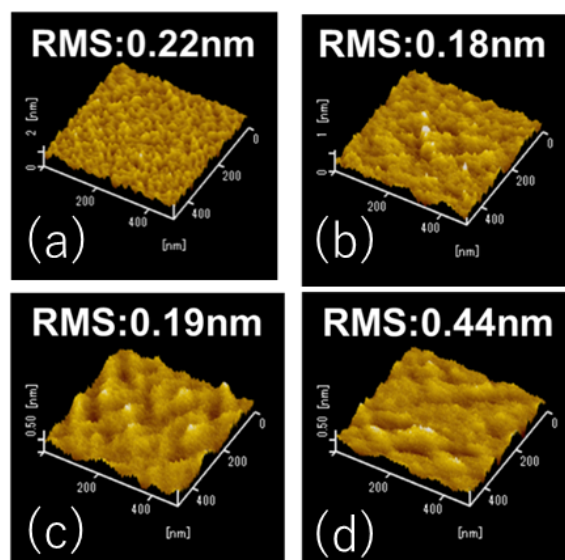


図 2、AFM で観察した表面像
(a)GaAs 基板表面、(b)H₂ フロー、(c)N₂ フロー、
(d)Sb フロー

次に、各々のフロー条件上に H_2 、 N_2 、 Sb フローによる $InSb$ 薄膜の成長を行った。 $InSb$ の成長条件は、成長温度 $550^\circ C$ 、 V/III 比 0.59 で成長時間は 15 分間であった。

図 3 に各試料の光学顕微鏡で観察した表面像である。 H_2 と N_2 で脱離をした $InSb$ バルクには表面に欠陥が見られなかったのに対して、 Sb で脱離した $InSb$ 薄膜には表面に欠陥が見られた。

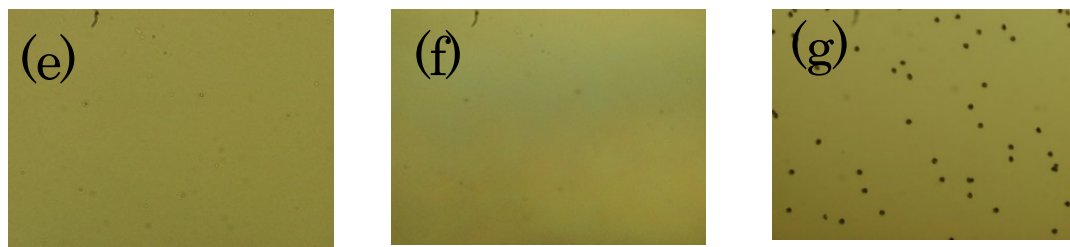


図 3、光学顕微鏡で観察した $InSb$ 表面像 (e) H_2 フロー、(f) N_2 フロー、(g) Sb フロー

次に、各試料における AFM で測定された RMS を表 1 に示す。走査範囲が大きいほど RMS 値差が大きくなっていることがわかる。図 4 に各フロー条件における AFM で観察された走査範囲が $5 \mu m \times 5 \mu m$ の $InSb$ 薄膜表面像を示す。 H_2 と N_2 フローを行った RMS 値は小さく表面状態が均一なのに対して、 Sb フローで成長した $InSb$ 表面に約 $1 \mu m$ 間隔で突起があることが確認された。

表 1、各試料における RMS 値

脱離	RMS[nm]			
	20um	5um	2um	0.5um
H_2	0.46	0.45	0.35	0.12
N_2	0.43	0.33	0.29	0.18
Sb	3.03	1.54	1.06	0.19

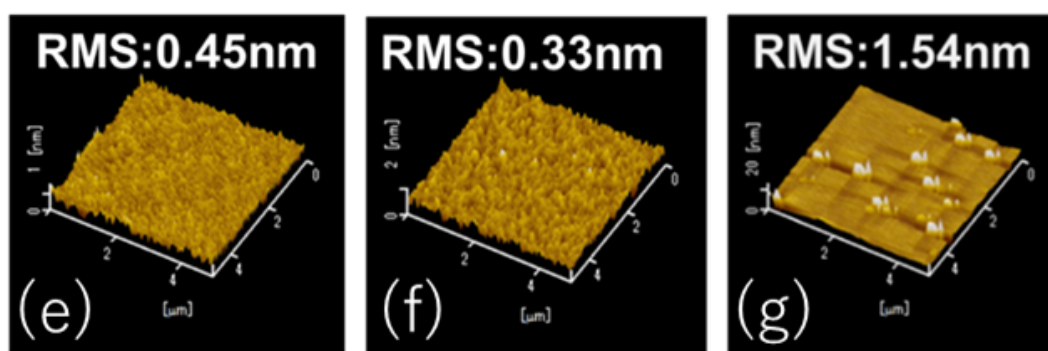


図 4、AFM で観察した $InSb$ 表面像 (e) H_2 フロー、(f) N_2 フロー、(g) Sb フロー

図5は、Sb脱離で成長を行ったGaAs基板上InSb薄膜のXRD測定(004)2 θ - ω スキャンによるスペクトルを示す。図4より、結晶ピークは56.8°であり、InSb薄膜の結晶ピークの文献値である56.7°付近にピークが観察された。

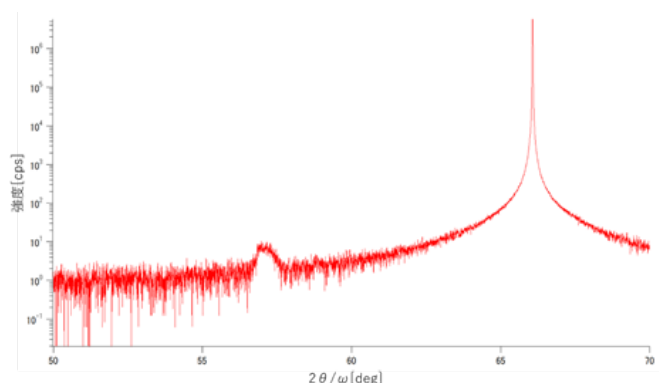


図5、GaAs基板上InSb薄膜のXRD測定(002)2 θ - ω スキャンによるスペクトル

次に、InSb薄膜にNH₃を導入してInSbN薄膜の作製を行い、NH₃流量を変化させて試料の各特性の評価を行った。図6は、GaAs基板上InSbN薄膜のXRD測定(004)2 θ - ω スキャンによるスペクトルを示す。InSbNのピークがInSbのピークからシフトしており、窒素が導入されていることが確認できた。また、NH₃の流量が25、100、500sccmでは結晶ピークが観察されたが、NH₃の流量が2000sccm以上になると結晶ピークが観察されなかった。これは、閃亜鉛鉱型構造からウルツ鉱型構造に変化したものと考えている。また、図6より、InSbNのピークはInSbよりもわずかに右側にピークしており格子定数が小さくなっていることがわかる。このことから、結晶内に窒素が導入されてボーイング効果が発生し結晶のバンドギャップが狭まっていると考えられる。しかし、InSb薄膜同様、InSbN薄膜の結晶ピークも強度があまり出ていない。この原因としては、InとSbフローの流量が少ないこと、成長時間が短いことなどが考えられる。また、半値幅が広いことやピークが2つ観察されたことについても、InSbおよびInSbN以外の不純物が結晶内に混在している可能性が考えられる。

以上の結果より、まだ最適化が必要であるがInSbN薄膜が作製可能であることが明らかとなり、NH₃の流量制御によりナローバンドギャップ化が可能で、中赤外から遠赤外線発光が可能であることが示唆できた。

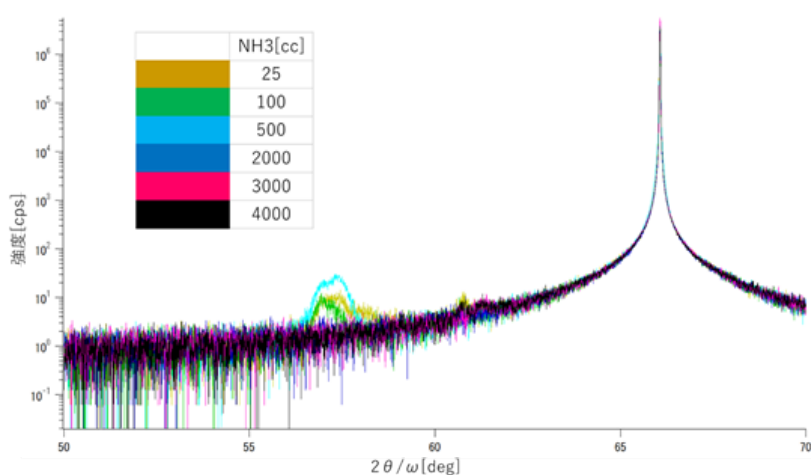


図6、GaAs基板上InSbN薄膜のXRD測定(002)2 θ - ω スキャンによるスペクトル