

硫化処理したInAs(111)およびInSb(001)表面の構造
および電子状態の研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 市川, 祐永 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1536

氏名・(本籍)	市 川 祐 永 (神奈川県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	工博甲第 181 号		
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 24 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子材料科学		
学位論文題目	硫化処理したInAs(111)およびInSb(001)表面の構造および電子状態の研究		
論文審査委員	(委員長)		
	教授	田 部 道 晴	教授 福 田 安 生
	教授	藤 安 洋	助教授 伊ヶ崎 泰 宏
	教授	中 村 高 遠	

論 文 内 容 の 要 旨

III-V族化合物半導体の中で最も狭いバンドギャップを有するInAsおよびInSbはその混晶とともに赤外領域の光デバイスへの応用が考えられている。しかしながら、その作製においては光デバイスの性能劣化をもたらす表面準位の低減が一つの課題となる。 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 溶液を用いた硫化処理法はIII-V族化合物半導体における表面準位密度を低減する優れたパッシベーション(不活性化)法として多くの研究がなされている。表面準位は表面構造と密接な関係があるので、硫化処理した表面の原子レベルでの構造や化学状態を調べることは電子状態を調べることも、そのパッシベーション効果を理解する上で重要な意味を持つ。本研究においては、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 溶液処理したInAs(111)およびInSb(001)表面の構造を低速電子回析法(LEED)、Auger電子分光法(AES)、走査トンネル顕微鏡法(STM)、X線光電子回析法(XPD)を用いて、表面における原子の化学状態と占有および非占有電子状態を光電子分光法(PES)および逆光電子分光法(IPES)を用いて詳細に調べ、以下のことを明らかにした。

1. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 処理InAs(111)表面

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 溶液を用いて硫化処理したn型InAs(111)A表面を約380℃までアニールすることにより、硫化処理III-V族化合物(111)表面において初めて (2×2) -S構造が確認された。一方、硫化処理(111)B表面におけるLEEDパターンは硫化処理GaAs(111)B表面において従来報告されているのと同様、 $1\times$

1のみが得られる。XPSスペクトルより、硫化処理後および340℃未満でアニールした(111)B表面において、SはInおよびAsの両方と結合しているが、それより高い温度でアニールした(111)B表面およびS吸着(111)A表面においては、SはInとのみ結合していることが判明した。また、S吸着(111)Aおよび(111)Bのいずれの表面においても、高温ではSは三配位または四配位でInと結合していることが示された。価電子スペクトルより、S吸着(111)B-(1×1)表面の構造はS原子が表面のAsサイトを置換したものであることが示唆された。

一方、(111)A-(2×2)-S表面においては、清浄表面に比べてInの非占有ダングリングボンド準位の密度が減少していることが明らかになった。この表面におけるInの化学状態は、バルク成分の他に3つの表面成分が存在するのに対し、Asの化学状態はバルク成分のみが存在する。STM観察によりこの表面においては2×2の周期のハニカム状の突起(protrusion)が観察されている。また、XPD測定からSが表面第1層よりも深いサイトを占めることと、SがAsサイトをほとんど置換していないことが示された。S_{2s}XPDパターンの運動学的解析に基づき、(111)A-(2×2)-S表面に対して1つの有力な構造モデルを提案した。このモデルは第1および第3層のInと第2層のSが結合距離0.27nmでハニカム状に結合したもので、(111)A-(2×2)-S表面に対するPES、IPESおよびSTMの実験結果をほぼ満足する。角度分解PESにより、(111)A-(2×2)-S表面における占有電子のバンド構造を実験的に明らかにした。PESスペクトルより、(111)A-(2×2)-Sおよび(111)B-(1×1)-Sのいずれの表面においても下方へのバンドの曲りが約0.2eVだけ増加していることが判明した。

2. (NH₄)₂S_x 処理InSb(001)表面

(NH₄)₂S_x 処理InSb(001)表面においては、他の硫化処理III-V族化合物表面とは異なり、6~7MLにも達する厚い硫化物層が形成される。S原子は処理後の表面においてInおよびSbのいずれの原子とも結合しているのに対し、310℃以上でアニールした表面においてはIn原子とのみ結合している。処理表面を340℃でアニールすることにより、(2×1)表面が現れる。硫化処理による表面の非占有ダングリングボンド準位の減少が認められた。

硫化処理したIII-V族化合物(111)表面の構造および電子状態を詳細に解析した例は少ない。硫黄パッシベーション処理されたInAs(111)およびInSb(001)表面の詳細な研究結果は光デバイスや、今後注目されるであろうInAs/GaAs(111)Aヘテロエピタキシャル構造の作製のための基礎的な知見を与える。

論文審査結果の要旨

III-V族化合物半導体の中で最も狭いバンドギャップと高い電子移動度を有するInAs、InSbは新しい光デバイスや高速デバイスへの応用を期待されている。しかしながら、それらの応用においてデバイスの性能劣化をもたらす表面準位の低減や表面の安定化が重要となる。これまでに(NH₄)₂Sx溶液を用いた表面の硫化がIII-V族化合物半導体における表面準位密度を低減し、デバイス性能を向上させることが報告されてきた。しかしながら、硫化したInAs(111)、InSb(001)表面の構造や電子状態についての研究はない。本研究では種々の表面分析機器を用いてそれらの表面構造や電子状態を調べた。

本論文では第1章に本研究の背景と研究目的を第2章には実験方法と各種測定機器の原理を述べている。第3章では(NH₄)₂Sx溶液処理したInAs(111)A、InAs(111)B表面の構造と電子状態について述べている。本章では以下の結果が得られている。(1)イオウはInのみと結合し、A表面では(2×2)構造をとり、B表面では(1×1)構造をとる。(2×2)表面構造はイオウ処理III-V族化合物半導体表面では初めて見出された構造である。(2)B表面ではAsの占有ダングリングボンドが消失することから、イオウはAsと置換すると考えられる。(3)A面ではInの化学状態は3種類あり、イオウと結合したもの、3配位したもの、金属結合したものが存在する。B面では1種類のInが存在し、バルクの状態に対応する。Asは表面に存在せずバルク中のみ存在する。(4)A面ではInの非占有ダングリングボンド密度がイオウ処理により減少した。(5)イオウ処理により、両表面ともバンドが0.2eV深くなった。第4章では走査トンネル顕微鏡(STM)を用いてInAs(111)A-(2×2)S表面を観察し、表面構造をX線光電子回折法(XPD)を用いて、バンド構造をシンクロン放射光を用いる電子分光で調べた結果について述べている。本章では以下の結果が得られている。(1)STMにより、ハニカム状の像が観察された。(2)イオウとInからなるハニカム構造モデルを用いた、XPDパターンのシミュレーション結果と実験結果はよく一致した。(3)3つの表面準位が存在することを明らかにした。第5章では(NH₄)₂Sx溶液処理したInSb(001)表面の構造と電子状態について調べた結果を述べている。本章では以下の結果が得られている。(1)イオウはInとのみ結合し、(2×1)構造をとる。(2)イオウとInの結合状態は2種類存在する。(3)表面6-7層は主としてInSから成る。(4)イオウ処理によりInの非占有ダングリングボンド密度が減少する。第6章は以上の結果を総括している。

以上の成果はIII-V族化合物半導体表面のパッシベーションの機構を解明する上で基礎的な知見を与える。又、上記表面上で種々の薄膜を形成する場合の形成過程を解明する上でも基礎的な知見を与えるものであり、本論文は博士(工学)を授与するのに充分であると認める。