

Si(100)基板上リン化ホウ素の結晶構造と 電気的特性に関する研究

2012年度

伊野 裕司

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	伊野 裕司
主 論 文 題 目 :			
Si(100)基板上リン化ホウ素の結晶構造と電気的特性			
(内容の要旨)			
<p>リン化ホウ素 (Boron Phosphide, BP) は、閃亜鉛鉱構造をもつ III-V 族化合物半導体の一種である。BP は、約 2.0 eV のバンドギャップをもつ間接遷移型半導体であり、熱的・機械的・化学的に安定な物質である。さらに、ホウ素族半導体であるので、高い中性子捕獲断面積をもつ。しかし、他の III-V 族化合物半導体と比べて、高い融点とリン蒸気圧のため、大きなサイズの BP バルク成長は困難であり、その特性についての研究が十分に行われているとはいえない。一方で、気相エピタキシャル成長により、Si 基板上に単結晶の BP 層を成長することができる。これらの BP 層は、GaN の準安定構造である立方晶 GaN と格子定数が近く、立方晶 GaN の成長用基板として期待される。さらに、BP は、熱的・機械的・化学的に安定なワイドギャップ半導体であることから、過酷な環境で動作する半導体デバイスとしても期待される。本論文では、これらの立方晶 GaN 成長用基板または半導体デバイスとしての利用を実現する上で問題となる、BP 中の転位と Si 不純物の問題、そして BP への金属コンタクトの問題の調査・解明を目的とした。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と従来の研究を概説し、本研究の目的を述べた。</p> <p>第 2 章から第 4 章では、本論文に関連する基本的な理論について述べた。第 2 章では BP と関連する材料の物性、第 3 章では結晶成長と結晶欠陥、第 4 章では金属と半導体のコンタクトの電流輸送特性について、それぞれ述べた。</p> <p>第 5 章では、成長条件が BP の結晶構造・結晶欠陥・電気的特性に及ぼす影響を、主に透過型電子顕微鏡と Hall 効果測定により調べ、特に Si ドーピングの影響を述べた。BP への Si 高濃度ドーピングにより、BP 表面にピットが出現し、貫通転位の方向が、(111)面に平行なものから(100)成長面に垂直な方向に変わることを明らかにした。一方で、GaAs の場合に見られるような Si ドーピングによる貫通転位密度の低減効果は、BP では確認できず、この理由をバイエルス力の点から検討した。</p> <p>第 6 章では、BP への金属コンタクトの電気的特性を調べ、オーミックコンタクトとショットキーコンタクトの特性を評価した。オーミックコンタクトでは、異なる金属コンタクトに対するアニーリングの効果を調査し、電流輸送メカニズム、アニーリングの影響、固有コンタクト抵抗の検討を行った。その結果、500°C で 50 分間のアニールを行った In コンタクトに対して、$2 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ という最小値を得た。この値は、先端デバイスで必要とされる $10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 以下の値には及ばないが、電気的特性の評価のためには十分な値だと考えられる。そして、得られたオーミックコンタクトの結果に基づいて、ショットキーコンタクトの評価を行ったが、十分なショットキー特性が得られたとはいえず、さらなる調査と BP のキャリア濃度の制御が必要である。</p> <p>第 7 章では、意図しないキャリアの由来について検討し、BP 中の不純物 Si の及ぼす影響とアニールがキャリア濃度に及ぼす影響について調べた。BP 中への Si の混入を防ぐために、被覆した Si 基板上において BP 成長を行い、その結晶性と電気的特性の評価を行った。SiO₂被覆 Si 基板上で成長した BP では、BP の結晶性の悪化が見られた一方で、キャリア濃度の顕著な変化は見られなかった。これは、SiO₂ 被覆による最適な成長温度条件などからのずれや基板表面の汚染による可能性があり、さらなるプロセスの改善が必要である。また、BP 中の点欠陥を低減させるために、被覆 BP の高温アニールを行い、その結晶性と電気的特性の評価を行った。アニールしたほぼ全ての条件でキャリア濃度の低減は確認できなかったが、Ar 雰囲気では 1100°C でアニールした BP では伝導型の n 型から p 型への変化が見られた。これらのアニール条件をさらに調整することで、BP の伝導型とキャリア濃度の制御が可能となると期待される。</p> <p>最後の第 8 章では、デバイス応用に求められる BP の性質について述べ、最後に本研究の結論と今後の展望について述べた。</p>			
以上			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number 80845986	SURNAME, First name INO Yuji
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">The Crystalline Structures and Electrical Properties of Boron Phosphide on Si (100) Substrate</p>		
<p>Abstract</p> <p>Boron phosphide (BP) is a kind of group III-V compound semiconductors and has a zinc blende structure. BP is an indirect transition semiconductor with a band gap of about 2.0 eV, and is thermally, mechanically, and chemically stable material. In addition, BP has a high thermal-neutron capture cross-section due to an isotope of boron. However, compared to other group III-V compound semiconductors, the BP bulk growth is difficult due to the high melting point and phosphorus vapor pressure. Therefore, the studies on BP are less than other group III-V compound semiconductors. On the other hand, a vapor phase epitaxy has made it possible to grow a BP layer on a Si substrate. BP has the lattice constant near that of cubic GaN which is a metastable structure of GaN, and is expected as a growth substrate for cubic GaN. BP is also expected as a semiconductor device operating in harsh environments because of the stable wide-gap semiconductor. However, serious problems remain regarding with the crystalline quality or impurity doping in the device application of BP. Therefore, this study aimed to investigate these problems, particularly the problems of dislocations and Si impurity in the BP. It also aimed to investigate the metal contacts to BP, which is an important requirement for device application.</p> <p>Chapter 1 outlines the background of this study and provides the purpose of this study.</p> <p>From Chapter 2 to Chapter 4, the basic theories related to this study are described: the properties of BP and the associated material in Chapter 2, crystal growth and crystal defects in Chapter 3, and current transport characteristics between a metal and a semiconductor in Chapter 4.</p> <p>In Chapter 5, it is described that the effect of growth conditions (especially the Si doping) on the crystal structure, crystal defects, and the electrical characteristics of BP by transmission electron microscopy and Hall effect measurement. For the heavily Si doped BP, pits appear on the BP surface, and it is found that the direction of the threading dislocations changes from the parallel to the (111) plane to the perpendicular to the growth (100) plane. On the other hand, in BP, the effect of reducing the threading dislocation densities by doping Si was not confirmed, as seen in the case of GaAs. And this reason is discussed in terms of Peierls force.</p> <p>In Chapter 6, the electrical properties of metal contacts to BP are investigated, and the characteristics of both ohmic and Schottky contacts are evaluated. The effects of annealing for different metal contacts are investigated, and the current transport mechanism, annealing effects, and specific contact resistances are discussed. As a result, the In contacts annealed at 500 °C for 50 min have the minimum specific contact resistance of $2 \times 10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$. Although this value is slightly larger than the required value for advanced devices of less than $10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$, that is sufficient for the evaluation of electrical characteristics. Based on the results of the obtained ohmic contact, the Schottky contacts are evaluated. As a result, sufficient Schottky characteristics were not obtained, and it is necessary to control the carrier concentration in BP.</p> <p>In Chapter 7, in order to consider the origin of the unintentional carrier in BP, the influence of Si impurities in BP and the effects of annealing on the carrier concentration are examined. To prevent contamination of Si into BP, the BP is grown on the SiO₂ coated Si substrate and is evaluated for its crystalline and electrical characteristics. For the BP grown on Si substrates coated with SiO₂, the crystallinity of BP was degraded and the carrier concentration in BP was not decreased. This is probably due to the deviation from the optimum growth conditions by SiO₂ coating and the contamination of the substrate surface, thus it is necessary to further improve the process. Also, to reduce point defects in BP, BP annealed at high temperature is evaluated. Although for most annealed samples the carrier concentration was not reduced, the change of conduction type in BP from n-type to p-type was observed for the samples annealed at 1100 °C under Ar atmosphere. Further adjustment of the annealing conditions in Ar would make it possible to control the carrier concentration and conduction type of BP.</p> <p>Chapter 8 describes the properties of the BP required for device applications, the conclusions and the future prospects of this study.</p>		