

学位論文 題目 酸化亜鉛単結晶を用いた光導電型紫外線センサの研究
研究科及び専攻 工学研究科電気電子・情報システム工学専攻
氏 名 高橋 修三

論文内容の要約

紫外線は広範な分野で今後ますます使用されるようになり、またオゾンホールの影響で環境中の紫外線量は増加すると考えられる。そのため紫外線情報を知ることが重要で、安価、安全、取り扱いが容易な紫外線センサ (UV センサ) の必要性が高まっている。可視光にตอบสนองせずに紫外線のみ検出するためには、エネルギーバンドギャップが 3 eV 以上の半導体を使用するのが有利であるため、窒化ガリウム (GaN)、酸化亜鉛 (ZnO)、酸化ガリウム (Ga_2O_3) などのワイドバンドギャップ半導体が検討されている。それらの中で、ZnO はバンドギャップが 3.37 eV であるので、近紫外線領域から深紫外線領域にわたって幅広く感度を持つと考えられる。しかも、レアメタルを含まず、高品質な大型単結晶が得られるので UV センサの材料として優れていると考えられる。高品質 ZnO 単結晶を使用した UV センサの研究ではショットキー型の例があるが、感度がまだ低い。

本研究では、まだあまり調べられていない ZnO 単結晶の紫外線に関する光導電の諸特性を明らかにし、高い感度が得られると考えられる光導電型紫外線センサ実現の可能性を検討した。

本論文は 7 章から構成されている。第 1 章は序論であり、環境紫外線の増加要因、人体への影響、UV センサの必要性および研究の目的を述べた。第 2 章では UV センサの現状と ZnO 単結晶の一般的性質、ZnO 単結晶の作製方法について述べた。第 3 章では本研究の実験方法およびサンプルの作製について詳細に説明した。第 4 章では本研究に使用した水熱合成法で作製した ZnO 単結晶基板 (c 面基板) の各種評価実験結果と考察について述べた。研究に用いた ZnO 単結晶は、不純物をドーピングしないで育成されたもの (ノンドープ ZnO 単結晶) と窒素 (N) をドーピングして作製したもの (N ドープ ZnO 単結晶) の 2 種類である。両者の基板とも結晶性及び表面平坦性が優れ、高品質であることを示した。また、N ドープ ZnO 単結晶基板の N 濃度はおよそ $10^{18}/\text{cm}^3$ 、抵抗率は $10^{7-8} \Omega \text{cm}$ でノンドープ基板に比べて 10^4 倍以上高いことが分かった。これはドーピングされた N がアクセプタの働きをし、欠陥由来のドナーを補償したために高くなったと考察した。

第 5 章では ZnO 単結晶基板の光導電特性を明らかにし、考察した。主な点は以下の通りである。① N ドープ及びノンドープ単結晶基板の Zn 面および O 面ともに紫外線領域に感度があり、光電流のピーク波長はおよそ 370 nm で ZnO 単結晶のバンドギャップとほぼ一致した。光電流は Zn 面よりも O 面で大きいが、両面とも 250 nm でも感度があった。② 受光感度は、ノンドープ ZnO 単結晶の O 面で 10^4 A/W 、Zn 面では約 $1.2 \times 10^3 \text{ A/W}$ で、N ドープ ZnO 単結晶の O

面では約 4×10^3 A/W、Zn面ではおよそ 4×10^2 A/Wとそれぞれ大きな値を示した。③ 15μ W/cm²の紫外線照射下での光電流/暗電流比は、ノンドープZnO単結晶では0面では約6、Zn面では約5と小さい値であったが、NドープZnO単結晶では0面で約 7×10^4 、Zn面で 4×10^4 と大きな値を示した。④ 可視光除去率（光電流の紫外線/可視光比）はNドープ単結晶基板のZn面が大きく、 10^4 以上の大きな値を示した。⑤ 光電流の時間応答特性はノンドープ単結晶基板よりもNドープ単結晶基板で速く、さらに0面よりもZn面で速い変化が得られた。⑥ 大気中、酸素ガス中、窒素ガス中、真空中での測定から、どちらの基板でも光電流は酸素の影響を強く受けて減少した。以上のような現象を以下のように考察した。2種類の基板ともZn面に比較すると0面の光電流の値が大きい。これは、0面では電子を捕獲する表面準位密度が高く、これに電導帯の電子が捕獲されてバンドが曲がり、光照射によって発生した電子と正孔が分離されて再結合の確率が減ってキャリアの寿命が長くなるが、Zn面では表面準位密度が低くバンドの曲がりが少ないためキャリアは分離されず、速い表面再結合によって光電流は小さくなるためと考察した。NドープZnO単結晶基板で時間応答が速いのは、ZnOの酸素欠陥によるトラップの密度がNのドーピングにより減少したためと考察した。そして、これらの結果から、NドープZnO単結晶基板の特にZn面がUVセンサに適していることを提案した。

第6章では第5章の提案を受けてNドープZnO単結晶センサを作製し、このセンサの諸特性について述べている。作製したUVセンサは、室内蛍光灯から出る弱い紫外線から太陽光の紫外線まで検出できることを示した。

第7章は結論で、主要な結果をまとめ、実用化への提言を行った。