

電子・情報 工学専攻	学籍番号	075301	指導 教員	若原 昭浩
申請者 氏名	李 昌勇			岡田 浩

論文要旨 (博士)

論文題目	III 族窒化物半導体と Si 回路を組み合わせたインテリジェント UV センサの開発
------	---

(要旨 1,200 字程度)

窒化物半導体を用いた紫外線を検知するセンサは、太陽光の影響なく炎特有のスペクトル(UV-C)を選択的に検出することができるため、煙や赤外線などを検出するセンサでは難しい大空間や屋外での使用が可能である。火炎スペクトルを検出する火災センサは火災が起きたとき、素子に流れる光電流と暗電流の差分をとり火災を検出する。しかし、炎特有のスペクトルの強度は数十 pW/mm^2 程度であり、一般的には外部の増幅器などによる微弱信号の増幅が必要である。この手法では、システムの大型化や熱雑音などのノイズの増大といった懸念がある。そこで、本研究では熱雑音などの影響を低減できる累積電荷転送型 Si 信号処理回路を採用し、窒化物半導体を用いたフォトダイオードイメージセンサと一体化した高感度火災センサの実現を目指し、イメージセンサの一面素に対する回路構成の決定を目的とした。

はじめに、窒化物半導体のフォトダイオードの作製を行った。GaN と $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 構造の窒化物半導体を用いてそれぞれの Schottky barrier diode (SBD) を作製し、電気・光特性の測定を行った。作製したデバイスの紫外線強度応答特性から検出限界を見積ると、電流読み出しモード・電圧読み出しモードの両方で $100 \text{ pW}/\text{mm}^2$ オーダの検出限界が得られた。実用化には結像光学系を用いることから数十 pW/mm^2 の紫外線検出が可能だと考えられる。

次に、作製した GaN および $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ SBD と Si 信号処理回路をワイヤにより接続し、原理検証を行った。イメージセンサ化の観点から、受光面積に依存しない電圧読み出しモードを今回は採用した。検証実験より、GaN SBD は入射光 $177 \mu\text{W}/\text{mm}^2$ に対して 350mV 、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ SBD は $84 \text{ nW}/\text{mm}^2$ に対して 500 mV の理論値程度の出力が得られ、SBD の信号を Si 信号処理回路の累積動作により増幅して読み出すことに成功した。

最後に、GaN デバイス作製におけるプラズマエッチングダメージについて検討した。inductively coupled plasma reactive ion etching (ICP-RIE) 装置を用い、種々の条件下でエッチングを行った試料を解析することで、プラズマダメージの影響を明らかにした。また、そのダメージの回復のため HCl 処理を行い、完成したデバイスのリーク電流密度を 2 桁以上低減することに成功した。この結果はフォトダイオードの検出感度を上げ、インテリジェント UV イメージセンサの高感度化に寄与するものである。

以上の結果より、単体のフォトダイオードからインテリジェント UV イメージセンサに向け、その一面素に対する III 族窒化物半導体のプラズマダメージの検討と、シリコン集積回路と一体化したインテリジェント UV センサの基本動作が実証された。

year month day
2012 6 29

Department	Electronic Information Engineering	ID	075301
Name	Chang Yong, Lee		

Supervisor	Akihiro Wakahara
------------	------------------

A b s t r a c t

Title	Intelligent UV Sensor Composed of III-Nitride Semiconductor and n-MOS Si Signal Processor
-------	---

(800 words)

High sensitive flame detector for open space and/or outdoor use is possible by use of solar-blind sensor which can selectively detect the flame spectrum (UV-C). In order to realize an image sensor by which flame site can detect identify, III-nitride based photodiodes is one of the candidates because of its absorption edge at solar-blind UV-C spectrum region, potential for miniaturization, and array formation using semiconductor technology. However, optical intensity of target flame spectrum is too weak, ~ 10 pW/mm², III-nitride based photodiodes needed an external amplifier or a field effect transistor (FET) structure to amplify weak signals, to reduce leak current, and to enhance a low signal-to-noise ratio (SNR). To overcome these difficulties, in this dissertation, an intelligent UV sensor composed of a GaN-based photodiodes (PDs) and n-channel metal-oxide-semiconductor (nMOS) Si signal processor was investigated to realize a prototype heterogeneous optoelectronic integrated circuit (OEIC). Si integrated electronics offers advanced signal processing, and nitride semiconductors have shown excellent optoelectronics and high electronic properties. Thus, the heterogeneous integration of these two material systems is promising not only for high-resolution image sensors that cover the UV to infrared range, but also flexibility for advanced applications.

Initially, the Au/n-GaN and Au/n-Al_{0.1}Ga_{0.9}N Schottky barrier diode (SBD) was demonstrated and evaluated to obtain the optimum process conditions for combination with a Si-charge transfer type signal processor. A 100 pW/mm² of UV detection limits was obtained both of GaN and Al_{0.1}Ga_{0.9}N SBDs by optical response characteristic measurement.

Then, to realize high sensitivity, the effects of plasma-induced damage on deep traps in n-GaN have been investigated. The Au/n-GaN SBDs were fabricated in an inductively coupled plasma ion etching (ICP-RIE) with various processing conditions, to introduce plasma damages. Also, in order to overcome the residue and plasma damage, the samples were treated by HCl. As a result, the electrical properties of fabricated SBDs strongly dependent on the RIE gas composition and the bias power applied to the sample stage. Also, the improved electrical characteristics were archived by HCl treatment and sinter process.

Finally, the fabricated GaN and Al_{0.1}Ga_{0.9}N SBDs were connected with the Si-charge transfer type signal processor to examine the effectiveness of the combined device for a UV detector. The processor was driven by a programmable function generator. Using the open-circuit voltage as the input signal, 350 mV (GaN) and 500 mV (Al_{0.1}Ga_{0.9}N) outputs were achieved at the irradiation UV power 177 μ W/mm² and 84 nW/mm², respectively.