Влияние приповерхностного изгиба зон на фотоэмиссионные характеристики р-GaN(Cs,O) фотокатодов

С.А.Рожков^{1,2)}, В.В. Бакин¹⁾, С.Н. Косолобов¹⁾, Г.Э. Шайблер^{1,2)}, А.С.Терехов¹⁾

¹ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,

Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, 630090, Пирогова, 2

тел: +7 (383) 330-98-74, факс: +7 (383) 333-27-71, эл. почта: rozhkovs@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-148

Фотокатоды с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС) на основе $A_{III}N$ полупроводников, в частности GaN, являются одним из ключевых элементов ультрафиолетовых однофотонных фотоприемников с координатной чувствительностью. Наряду с этим, исследуется возможность использования GaN фотокатодов в качестве стабильных источников электронов. Несмотря на практическую значимость, до сих пор детально не изучен процесс выхода фотоэлектронов из р-GaN фотокатодов с ОЭС в вакуум, который напрямую определяет величину таких параметров фотокатодов, как квантовая эффективность (QE). Остается открытым вопрос о влиянии величины приповерхностного изгиба зон (V_{bb}) р-GaN фотокатодов с ОЭС на величину QE. Известно, что для формирования состояния ОЭС необходимо наличие приповерхностного изгиба зон [1]. На поверхностях р-GaN V_{bb} может достигать 3 В [2]. Такие высокие значения V_{bb} значительно облегчают активирование поверхности до состояния ОЭС, однако гипотетически могут приводить к уменьшению вероятности выхода фотоэлектронов в вакуум (P_e) из-за увеличения вероятности процессов неупругого рассеяния в приповерхностной потенциальной яме. Таким образом, неизвестно существует ли оптимальная величина V_{bb} на поверхности р-GaN, при которой фотокатоды обладают наиболее высокими фотоэмиссионными характеристиками. В данной работе исследована эволюция фотоэмиссионных свойств р-GaN(Cs,O) фотокатодов при фотоиндуцированном уменьшении V_{bb} за счет эффекта поверхностной фотоЭДС [3].

Измерения проводились на планарных вакуумных фотодиодах, в которых полупрозрачный р-GaN(Cs,O) фотокатод с ОЭС и металлический плоский анод были установлены параллельно друг другу в металлокерамическом корпусе. Концентрация атомов Mg и свободных дырок в слое р-GaN, выращенного на сапфире с ориентацией (0001), была близка к $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно. На очищенную поверхность р-GaN в сверхвысоком вакууме наносился цезий и кислород до достижения максимальной величины QE. При этом величина ОЭС на поверхности составляла около 1.7 эВ. На поверхностях исследованных р-GaN(Cs,O) фотокатодов V_{bb} по нашим оценкам [4] близок к 2.5 В.

В данной работе измерены значения QE и распределения по продольной энергии эмитированных фотоэлектронов ($n_e(\epsilon_{lon})$) из р-GaN(Cs,O) фотокатодов при различных интенсивностях и длинах волн возбуждающего излучения в интервале температур 90 – 295 К. Фотоиндуцированное изменение ΔV_{bb} определялось по изменению ширины распределений $n_e(\epsilon_{lon})$ при освещении фотокатода светом различной интенсивности. Анализ эволюции QE и распределений $n_e(\epsilon_{lon})$ при изменении V_{bb} показал, что при уменьшении V_{bb} уменьшаются как вероятность неупругого рассеяния фотоэлектронов в приповерхностной области р-GaN, так и P_e (см. рисунок). Следовательно, в исследованном диапазоне изгибов зон усиление неупругого рассеяния

не приводит к падению P_e и QE. Таким образом, полученные результаты показывают, что высокие значения приповерхностного изгиба зон, по всей видимости, не являются ограничением для достижения максимальных значений P_e и QE.

Литература

- [1] R.L. Bell. Negative electron affinity devices. Oxford: Clarendon Press, 1973. 148 p.
- [2] M. Eyckeler et al. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1998. V.16. No.4. P.2224-2228.
- [3] D. Sato et al. // Jpn. J. Appl. Phys. 2016. V.55. No.5S. P.05FH05(4).
- [4] А.А. Пахневич и др. // Письма в ЖЭТФ. 2004. Т.79, вып.10. С.592-596.