Эволюция спектров квантового выхода и энергетических распределений фотоэлектронов, эмитированных с интерфейса p-GaN(Cs)-вакуум, при изменении температуры

Рожков С.А.^{1,2}, Бакин В.В.¹, Косолюбов С.Н.¹, Шайблер Г.Э.^{1,2}, Терехов А.С.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-127

Полупроводниковые фотокатоды на основе нитридных соединений, поверхность которых активирована до состояния эффективного отрицательного электронного сродства (ОЭС), являются ключевыми элементами солнечно-слепых фотодетекторов с координатной чувствительностью и наносекундным временным разрешением. Для изготовления фотокатодов с ОЭС важен энергетический спектр поверхностных электронных состояний (DOS), поскольку для достижения состояния ОЭС требуются высокие значения поверхностного изгиба зон, который определяется положительным зарядом поверхности. Увеличение заряда поверхности и, соответственно, плотности поверхностных состояний должно увеличить вероятности термического и оптического заброса в вакуум электронов, лежащих ниже уровня Ферми в приповерхностной области фотокатода. Это в свою очередь вызовет рост плотности темнового тока фотокатода и рост квантовой эффективности (QE) фотокатода при энергиях фотонов ($\hbar\omega$) меньших ширины запрещенной зоны (ε_g) полупроводника [1], что уменьшит коэффициент солнечной слепоты. В данной работе мы впервые изучили эволюцию спектров QE и энергетических распределений фотоэлектронов по продольной энергии ($n_e(\varepsilon_{\text{ion}})$), эмитированных GaN фотокатодом с ОЭС, при изменении температуры.

Измерения проводились на самодельных вакуумных фотодиодах, в которых p-GaN фотокатод с ОЭС и металлический анод были герметично установлены параллельно друг другу в металлокерамическом корпусе, образуя электронный спектрометр с однородным тормозящим электрическим полем. Концентрации магния и свободных дырок в 170 нм слое p-GaN были равны $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ и $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, соответственно. После химической очистки поверхности GaN и прогрева в сверхвысоком вакууме на поверхность наносились атомы цезия до достижения состояния ОЭС и максимальной величины вероятности выхода фотоэлектронов в вакуум. Измерялись спектры QE и распределения $n_e(\varepsilon_{\text{ion}})$ фотоэлектронов, эмитированных из p-GaN(Cs) в вакуум, при $\hbar\omega$ как больших, так и меньших ε_g GaN. Измерения проводились в интервале температур 80-300 К. Для расчетов спектров QE мы воспользовались феноменологической моделью, в которой задавалась форма DOS и учитывались флуктуации работы выхода.

Результаты измерений спектров QE и расчета для двух температур показаны на рисунке точками и линиями, соответственно. При малых $\hbar\omega$ форма QE близка к экспоненциальной, показатель которой зависит от температуры, что свидетельствует о забросе в вакуум фотоэлектронов из хвоста функции Ферми на поверхности. Как видно из рисунка, нам удалось удовлетворительно описать измеренные при различных температурах спектры QE, используя одну и ту же форму DOS, и, следовательно, мы определили качественный вид энергетического спектра поверхностных состояний.