Эмиссия электронов из GaAs(Cs,O) в вакуум при переходе от отрицательного к положительному электронному средству

Журавлев А.Г.^{1,2}, Альперович В.Л.^{1,2}

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-76

Поверхность p -GaAs(Cs,O) с отрицательным эффективным электронным средством (ОЭС), при котором уровень вакуума лежит ниже дна зоны проводимости в объеме GaAs на $\chi^* \approx -0.2$ эВ, широко используется в различных фотоэмиссионных приборах [1]. Поверхности полупроводников с относительно небольшим положительным эффективным средством (ПЭС) $\chi^* \sim 0.2-0.4$ эВ также вызывают интерес в связи с возможностью повышения эффективности преобразования солнечной энергии за счет использования "фотонно-усиленной термоэлектронной эмиссии" [2]. При ПЭС величина тока фотоэмиссии определяется поверхностным потенциальным барьером, который необходимо преодолеть фотоэлектронам, и вероятностью их выхода в вакуум, которая оказалась сравнительно малой $P_t \leq 10\%$ [3]. В случае ОЭС, потенциальный барьер для выхода фотоэлектронов со дна зоны проводимости в вакуум отсутствует, однако вероятность эмиссии при однократном соударении с поверхностью также мала. При этом большой квантовый выход фотоэмиссии ОЭС-фотокатодов (до $\sim 50\%$) обеспечивается, предположительно, захватом электронов в квантово-размерную подзону в области поверхностного изгиба зон и эмиссией в вакуум благодаря "многократным столкновениям" с поверхностью за время жизни в подзоне [4]. В работе [5], при переходе от положительного средства ($\chi^* \approx 0.25$ эВ) к отрицательному ($\chi^* \approx -0.05$ эВ), экспериментально обнаружена немонотонная зависимость вероятности выхода электронов $P_t(\chi^*)$, с глубоким минимумом $P_t \sim 1\%$ вблизи нулевого средства, обусловленная, предположительно, сменой механизма эмиссии при таком переходе. В данной работе, с целью уточнения механизмов эмиссии и причины возникновения минимума, а также поиска особенностей, обусловленных прохождением уровня вакуума через двумерные подзоны, зависимость $P_t(\chi^*)$ была измерена в широком диапазоне изменения средства (вплоть до $\chi^* \approx -0.25$ эВ), в эксперименте по обратному переходу от ОЭС к ПЭС. Этот переход осуществлялся при "деградации" оптимально активированного p -GaAs(Cs,O) ОЭС-фотокатода путём нанесения избыточного кислорода или цезия. Методика определения вероятности выхода электронов в вакуум по измеренным спектрам квантового выхода фотоэмиссии описана в [3,5]. Установлено, что вероятность выхода монотонно уменьшается при увеличении средства с $\chi^* \approx -0.25$ эВ до $\chi^* \approx 0$. Полученные результаты обсуждаются в рамках известных механизмов эмиссии, с учетом возможного отражения электронов от поверхности с "металлическими" цезиевыми кластерами, а также рассеяния импульса и энергии электронов на границе полупроводник-слой (Cs,O)-вакуум. Отсутствие особенностей в $P_t(\chi^*)$ при прохождении второй подзоны, дно которой лежит, согласно [4], на ~ 20 мэВ ниже дна зоны проводимости в объеме GaAs, связано, возможно, с влиянием флуктуационного потенциала случайно расположенных заряженных центров на поверхности и в области изгиба зон.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 17-02-00815.

[1] Р.Л. Белл, *Эмиттеры с отрицательным электронным средством*, Энергия, М. (1978).

[2] J.W. Schwede, I. Bargatin, D.C. Riley, et al., *Nature Mater.* **9**, 762 (2010).

[3] A.G. Zhuravlev, A.S. Romanov, V.L. Alperovich, *Appl. Phys. Lett.* **105**, 251602 (2014).

[4] Д.А. Орлов, В.Э. Андреев, А.С. Терехов, *Письма в ЖЭТФ*, **71**, 220 (2000).

[5] А.Г. Журавлев, В.С. Хорошилов, В.Л. Альперович, *Письма в ЖЭТФ* **105**, 645 (2017).