Пленение излучения и субподзонный пик в спектрах квантового выхода фотоэмиссии p -GaAs(Cs,O)

Д.Е. Протопопов^{1,2}, В.С. Хорошилов^{1,2}, Д.М. Казанцев^{1,2}, Г.Э. Шайблер^{1,2}, В.Л. Альперович^{1,2}

¹ Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН, 630090, Новосибирск

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск

тел.: +7 (383)330-98-74, эл. почта: alper@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-130

Поверхности p -GaAs с адсорбированными слоями цезия и кислорода широко используются для создания фотокатодов с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС) [1]. Поверхности полупроводников с относительно небольшим (0.2-0.4 эВ) положительным электронным средством (ПЭС) привлекают внимание в связи с возможностью использования фотонно-усиленной термоэлектронной эмиссии (photon-enhanced thermionic emission, PETE) для повышения эффективности преобразователей солнечной энергии [2]. В [3,4] методом спектроскопии квантового выхода фотоэмиссии изучен переход между состояниями с отрицательным и положительным средством путем нанесения избыточного цезия или кислорода на оптимально активированную поверхность p -GaAs(Cs,O). Зависимости вероятностей выхода горячих и термализованных электронов от величины средства, полученные сопоставлением измеренных спектров с расчетом, свидетельствуют о смене механизма эмиссии при переходе от ОЭС к ПЭС [3]. При этом, в области энергий фотонов $\hbar\omega$ ниже ширины запрещенной зоны ε_g , проявились ранее не наблюдавшиеся спектральные особенности в виде отчетливого "плеча", а при некоторых условиях – пика, которые не получили ясного объяснения [4]. Данная работа посвящена выяснению возможных причин этих особенностей.

Эксперименты проводились в сверхвысоковакуумной установке на эпитаксиальных слоях сильнолегированного p -GaAs толщиной 4 мкм с концентрацией дырок $7 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, выращенных на полуизолирующих подложках GaAs. Чистая поверхность p -GaAs приготавливалась химическим удалением оксидов и последующим отжигом в вакууме. Ток фотоэмиссии измерялся в геометрии "на отражение". Установлено, что при нанесении цезия на поверхность GaAs(Cs,O), предварительно активированную до состояния с ОЭС, происходит переход от ОЭС к ПЭС, и в спектре фотоэмиссии проявляется отчетливый пик при энергии фотонов $\hbar\omega \approx 1.365 \text{ эВ}$, меньшей ширины запрещенной зоны GaAs $\varepsilon_g \approx 1.42 \text{ эВ}$. При нанесении избыточного кислорода данная спектральная особенность проявлялась существенно слабее, в виде плеча. Возможная причина этих особенностей связана с "пленением" излучения в образце и эффектом Франца-Келдыша в поверхностном электрическом поле. Действительно, свет с энергией квантов в области прозрачности подложки эффективно захватывается в структуре благодаря диффузному отражению от неполированной (матовой) задней поверхности подложки и эффекту полного внутреннего отражения. Однако для энергий фотонов, достаточно близких к ширине запрещенной зоны, этот свет может поглощаться вблизи поверхности благодаря эффекту Франца-Келдыша в поверхностном электрическом поле, который приводит к сдвигу края поглощения в сторону меньших энергий фотонов. Несмотря на малость толщины области поверхностного поля $w \sim 10 \text{ нм}$, значимое поглощение света и последующая эмиссия электронов возможны, по-видимому, благодаря многократному прохождению плененного излучения через эту область. При увеличении энергии фотонов, эффект отражения от задней грани пропадает за счет сильного поглощения в подложке, и фотоэмиссия, вызванная плененным излучением, уменьшается. Установлено, что полировка задней грани подложки приводит к исчезновению пика в спектре. Таким образом, эффект пленения излучения доказан экспериментально. В то же время, механизм поглощения плененного излучения остается пока не вполне ясным. В работе обсуждаются, помимо эффекта Франца-Келдыша в поверхностном поле, возможное поглощение в адсорбированных атомах цезия между уровнями $6s$ и $6p$, модифицированными (сдвинутыми по энергии и уширенными) благодаря адсорбции на поверхности, а также поглощение в самом эпитаксиальном слое p -GaAs.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-02-00355.

Литература

- [1] V.V. Bakin et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. 5, p.80-88 (2007).
- [2] J.W. Schwede et al., Nat. Mater. 9, 762 (2010).
- [3] A.G. Zhuravlev, V.S. Khoroshilov, V.L. Alperovich, Appl. Surf. Sci. 2019483, 895 (2019).
- [4] D.E. Protopopov et al., J. Phys.: Conf. Ser. 2020, v. 1695, 012105