Самопроизвольные перестройки атомной структуры полупроводниковых интерфейсов с Cs – покрытиями

В.В. Бакин¹⁾, С.Н. Косолобов¹⁾, С.А. Рожков^{1,2)}, 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, 6300901, Пирогова, 2

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

DOI 10.34077/RCSP2019-36

Полупроводниковые фотокатоды с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС) являются наиболее совершенными эмиттерами электронов и широко используются в современных фотоприёмниках и фотоэлектронных инжекторах, предназначенных для решения фундаментальных научных и важных практических задач. Дальнейшее повышение технических характеристик ОЭС – фотокатодов сдерживается недостаточным пониманием физических закономерностей формирования атомной структуры ОЭС – интерфейсов с оптимальными Cs – покрытиями, обеспечивающими максимальную вероятность выхода фотоэлектронов в вакуум (P_e) и стабильность P_e во времени. Для изучения этих закономерностей мы экспериментально исследовали спонтанные изменения вероятности выхода фотоэлектронов из р - GaN(Cs) – фотокатода в вакуум (P_e) и их энергетических распределений ($n_e(\epsilon_{\text{ion}})$) во время прерываний Cs – потока в экстремально высоком вакууме (ЭВВ), в котором адсорбция остаточных газов на ОЭС – интерфейсе была пренебрежимо мала [1]. Мы выбрали интерфейс р-GaN(Cs) - вакуум как модельный потому, что исходная атомарно – чистая поверхность р-GaN – слоя не содержала избыточного галлия и азота. Эксперименты проводились в широком интервале Cs – покрытий (θ_{Cs}), как меньших, так и больших оптимального ($\theta^{\text{оп}}_{\text{Cs}}$), при котором $P_e(\theta_{\text{Cs}})$ достигала максимума и оставалась стабильной после прерывания Cs – потока. Обнаружено, что прерывания Cs – потока при $\theta_{\text{Cs}} < \theta^{\text{оп}}_{\text{Cs}}$ вызывали спонтанные уменьшения $P_e(t)$, в то время как прерывания Cs – потока при $\theta_{\text{Cs}} > \theta^{\text{оп}}_{\text{Cs}}$ вызывали её спонтанный рост. Для объяснения спонтанных изменений $P_e(t)$ и $n_e(\epsilon_{\text{ion}}, t)$ мы предложили термодинамическую модель, связывающую наблюдаемые изменения с самопроизвольными изменениями атомной структуры интерфейса, снижавшими его удельную свободную энергию и изменявшими его удельную энтропию [1]. Важную информацию о влиянии атомной структуры поверхности полупроводника на фотоэмиссионные свойства ОЭС - фотокатода мы получили из анализа формы зависимостей $P_e(\theta_{\text{Cs}})$, изученных для поверхностей р-GaAs - слоёв с ориентацией [001] при различных концентрациях избыточного мышьяка (δ_{As}). Величину δ_{As} в экспериментах мы увеличивали путём снижения максимальной температуры финишного прогрева р-GaAs - слоя. Было установлено, что $P_e(\theta_{\text{Cs}})$ возрастает с увеличением θ_{Cs} для р-GaAs – слоёв с любой δ_{As} и достигает максимума при оптимальном Cs – покрытии. Мы обнаружили, что величина $\theta^{\text{оп}}_{\text{Cs}}$ при этом снижалась с уменьшением δ_{As} и достигала минимума при формировании Ga – стабилизированной поверхности, для которой $\delta_{\text{As}} \approx 0$. Наблюдаемые закономерности мы объяснили тем, что слабосвязанные As – атомы на поверхности р-GaAs при $\delta_{\text{As}} > 0$ взаимодействуют с адсорбированными Cs – атомами с образованием кластеров арсенида цезия. Формирование кластеров увеличивает удельную энтропию интерфейса р-GaAs(Cs) – вакуум, увеличивая тем самым вероятности рассеяния и рекомбинации фотоэлектронов на интерфейсе и снижению P_e . Из экспериментов известно, что максимальная P_e для интерфейса р-GaAs(Cs,O) – вакуум достигается при формировании (Cs,O) – покрытия на Ga – стабилизированной поверхности р-GaAs, для которой $\delta_{\text{As}} \approx 0$. С другой стороны, если температура и (или) длительность прогрева поверхности р-GaAs – слоя превышают оптимальные значения, то избыточное испарение мышьяка сопровождается появлением на Ga – стабилизированной поверхности полупроводника подвижных Ga – атомов, постепенно объединяющихся в макроскопические Ga – капли. Наблюдаемые нами нестабильности $P_e(t)$ на Ga – стабилизированных поверхностях р-GaAs мы объяснили взаимодействием подвижных Cs- атомов с Ga – каплями с образованием различных интерметаллических соединений, увеличивающих вероятности рассеяния и рекомбинации фотоэлектронов во время их перехода из полупроводника в вакуум. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-02-00517).

Литература

[1] В.В.Бакин и др. // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т.108, вып.3.С.180-184.