

06;11  
©1995

## СОХРАНЕНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИМПУЛЬСА ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ФОТОЭМИССИИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ СРОДСТВОМ

*В. П. Денисов*

Выполнение закона сохранения тангенциальной составляющей импульса (ТСИ) при пересечении электроном некогерентной границы раздела фаз — дискутируемый в настоящее время вопрос [1,2]. В значительной мере сложность его решения связана с интегральным характером проводимых измерений, что делает интерпретацию результатов неоднозначной и модельно-зависимой. Предлагаемый в [3] метод исследования, связанный с выводом электронного пучка в вакуум и его анализом с помощью методов электронной спектроскопии, в данном случае с угловым разрешением, для данной цели неудовлетворителен, поскольку отсутствует уверенность в идеальности исследуемой поверхности, а если она имеет какую-либо неплоскостность, например фасетирование, угол вылета и угол регистрации отличаются и результат вновь оказывается неоднозначным. Существует, однако, и другая возможность оценки углового распределения.

В тех случаях, когда закон сохранения ТСИ не соблюдается, единственным ограничением выхода электронов в вакуум является условие

$$E > E_{\text{vac}}, \quad (1)$$

где  $E$  — энергия электрона,  $E_{\text{vac}}$  — энергия электрона, покоящегося в вакууме, отсчитываемые от уровня Ферми. (Наличие барьера, лежащего выше  $E_{\text{vac}}$ , меняя количественную сторону, не налагает дополнительных ограничений на возможность выхода как таковую при условии, что толщина барьера не слишком велика.) При небольшом снижении работы выхода, таким образом, можно ожидать значительных изменений в энергетическом спектре эмитированных электронов только в области почти нулевых энергий и, возможно, вследствие уменьшения надбарьерного отражения и коэффициента прозрачности туннельного барьера, в области малых энергий, что было использовано для определения формы барьера в [4].

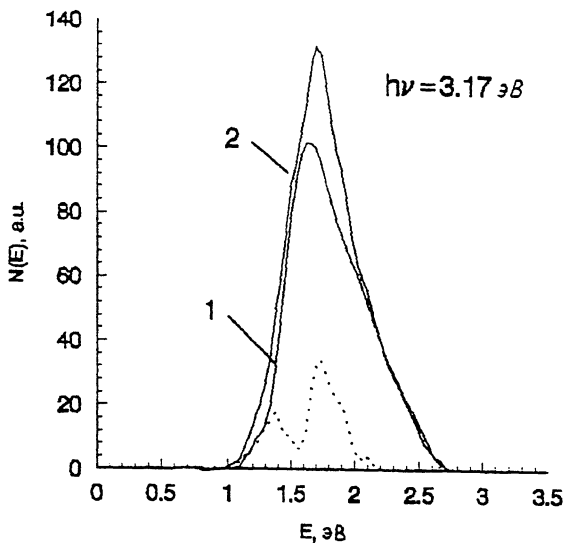
Однако в случаях, когда при выходе электронов строго соблюдается закон сохранения ТСИ, появляются дополнительные ограничения. Если тангенциальная составляющая волнового вектора равна  $k_t$ , то для выхода электронов в вакуум необходимо выполнение более жесткого условия

$$E > E_{\text{vac}} + \hbar^2 k_t^2 / 2m. \quad (2)$$

Здесь  $\hbar$  — постоянная Планка и  $m$  — масса электрона.

Таким образом, при уменьшении работы выхода, достаточном для того, чтобы выполнялось условие (2), в энергетическом спектре электронов, как и в первом случае, появится новая группа, но при этом их энергия в зависимости от величины  $k_t$  может быть практически любой, в том числе и достаточно высокой. Существенно, что подобное явление по своей сути непосредственно связано с законом сохранения ТСИ и не зависит от вторичных явлений на поверхности, фасетирования, наличия ступенек и т. п.

Для экспериментальной проверки соблюдения закона сохранения ТСИ были взяты образцы арсенида галлия, легированные германием до концентрации дырок на уровне  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  с ориентацией (111) В. После обычной процедуры термической очистки и нанесения цезия и кислорода, снижающих работу выхода до состояния отрицательного электронного сродства, в четырехсеточном анализаторе были проведены измерения энергетических спектров фотоэлектронов. Вся процедура обработки и измерений подробно описана ранее [5,6]. Исследования картин дифракции медленных электронов показали, что после термической обработки поверхность становится фасетированной, фактической плоскостью выхода являются грани (110), как это отмечалось и ранее [7]. Адсорбированный слой соединения цезия и кислорода, по данным тех же наблюдений, был полностью аморфным; таким образом, можно с полным основанием считать границу раздела совершенно некогерентной. Энергетические спектры электронов, эмитированных при энергии возбуждения несколько более 3 эВ, показаны на рисунке для двух этапов нанесения активирующего покрытия, соответствующих отличающимся работам выхода. Положение уровня Ферми и соответственно величина работы выхода были определены сопоставлением этих спектров со спектрами фотоэмиссии серебряной пластинки; в свою очередь, ее работа выхода определялась аппроксимацией спектральных характеристик по формулам Фаулера. Из рисунка видно, что при снижении работы выхода исследуемой системы с 1.15 до 1.05 эВ левый край спектра смещается в сторону меньших энергий, увеличивается количество электронов в низкоэнергетической области, как это было отмечено



Энергетические спектры электронов фотоэмиссии GaAs/Cs/O. Работа выхода: 1 — 1.15, 2 — 1.05 эВ. Пунктир-разностная кривая.

и ранее [8], кроме того, количество электронов с энергией от 1.55 до 2.10 эВ существенно увеличивается. По данным [8], прозрачность поверхностного барьера при таких расстояниях от уровня Ферми близка к единице и не может объяснить наблюдаемого явления. Можно предположить, что эта группа действительно обладает значительной тангенциальной составляющей волнового вектора, сохраняющейся при пересечении границы арсенида галлия с адсорбированным слоем и выходе в вакуум.

При использованных в настоящей работе энергиях возбуждающих квантов значительная часть электронов возбуждается достаточно высоко и термализуется в  $X$ - или  $L$ -минимумах зоны проводимости, которые лежат соответственно на 0.5 и 0.33 эВ выше основного  $\Gamma$ -минимума и находятся в точках, близких к точкам (100) и (111) зоны Бриллюэна, а значит действительно обладают большой компонентой волнового вектора, параллельной поверхности (110). Энергетическое положение особенностей разностной кривой распределения электронов по энергиям не противоречит такому предположению.

## Список литературы

- [1] *Ludecke R., Bauer A.* // *Physica Scripta*. 1994. V. 55. P. 90.
- [2] *Bauer A., Cuberes M.T., Prietsch M., Kaindl G.* // *Phys. Rev. Lett.* 1993. V. 71. P. 149.
- [3] *Peretti J., Drouhin J.-H., Paget D.* // *Phys. Rev. Lett.* 1990. V. 64. P. 1682.
- [4] *Денисов В.П.* // *Письма в ЖТФ*. 1992. Т. 18. В. 5. С. 21.
- [5] *Денисов В.П., Климин А.И.* // *ФТТ*. 1988. Т. 32. С. 1754.
- [6] *Антонова Л.И. и др.* // *Письма в ЖТФ*. 1985. Т. 11. С. 602.
- [7] *James L.W., Antypas G.A., Edjcumbe J.* // *J. Appl. Phys.* 1971. V. 42. P. 4976.
- [8] *Денисов В.П.* // *Письма в ЖТФ*. 1992. Т. 18. В. 14. С. 38.

Санкт-Петербургский  
государственный  
университет

Поступило в Редакцию  
23 июня 1995 г.

---