

## ПОВЕРХНОСТНОЕ РАССЕЙЯНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА И ПОВЕРХНОСТНОЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА

О.А. Панченко, С.В. Сологуб

Институт физики НАН Украины, пр. Науки 46, Киев-28, Украина 03028

Столкновение носителей тока с поверхностью может приводить к переходам между объемными и поверхностными электронными состояниями [1]. Эти переходы возможны при выполнении законов сохранения энергии и тангенциальной компоненты квазиимпульса носителя.

Пути контролируемого влияния на поверхностное рассеяние являются адсорбция, упорядочение и изменение концентрации адсорбированных субмонослойных пленок и реконструкция поверхности. Экспериментальные исследования, в основном, проводились для рассеяния носителей объемных состояний металлов [2]. Недавно экспериментально исследовано поверхностное рассеяние носителей поверхностных состояний [3,4]. Полученная оценка коэффициента зеркальности поверхностного отражения для электронов поверхностных состояний составляет около 0.3. Для носителей объема эта величина может быть близкой к единице [2].

Нами экспериментально показано, что изменение топологии Ферми контура поверхностных состояний атомночистой поверхности W(110) при адсорбции упорядоченного монослоя водорода или дейтерия приводит к увеличению зеркальности поверхностного рассеяния носителей, обусловленного сокращением возможных каналов переходов между объемными и поверхностными состояниями.

Эксперименты проводились в сверхвысоковакуумном стеклянном приборе при остаточном давлении  $10^{-11}$  Торр и температуре жидкого гелия. Использовались разработанные авторами поверхностно-чувствительные методы, основанные на гальваномангнитных размерных явлениях – статическом скин-эффекте и поперечном магнетосопротивлении [2]. Для ослабления влияния других, кроме поверхностного, механизмов рассеяния использовалась высокочистая охлажденная до температуры жидкого гелия пластина W(110) (отношение электросопротивления объема при комнатной и гелиевой температуре составляло  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$ ). Поверхности плоскопараллельной пластины с размерами около  $4 \times 8 \times 0.1 \text{ мм}^3$ , ориентированная с точностью  $0.05^\circ$  в плоскости (110), обрабатывалась по стандартной методике до атомночистого состояния. Напряженность постоянного магнитного поля была в пределах 15 – 30 кЭ.

Напыление субмонослойной пленки водорода или дейтерия на поверхность пластины W(110) при выполнении условий статического скин-эффекта, приводит к немонотонному изменению магнетосопротивления (МС) пластины (левая часть Рис. 1). Эта зависимость, измеренная при  $T = 4.2 \text{ К}$  и постоянном потоке адсорбата на поверхность, отражает изменение характера поверхностного рассеяния носителей тока при увеличении поверхностной концентрации адатомов от атомночистой поверхности до покрытия насыщения. Последующий отжиг осажденной пленки при возрастающих температурах изменяет концентрацию адсорбата и вызывает образование упорядоченных субмонослойных хемосорбированных структур, изменяющих характер поверхностного рассеяния носителей тока, в частности, в результате электронно-дырочных перебросов [2].

Плато при  $T \approx 200 - 300 \text{ К}$  на Рис.1 указывает на неизменность характера поверхностного рассеяния в этой области температуры отжига и свидетельствует о том, что концентрации и симметрии адсорбированной пленки неизменна. Результаты структурных исследований методом ДМЭ указывают, что при этих температурах отжига существует

максимально упорядоченный монослой адсорбата. Обратим внимание, что значение МС, соответствующее таким пленкам, меньше значения МС для пластины с атомночистой поверхностью. Другими словами, упорядочение монослоя атомарного водорода или дейтерия увеличивает зеркальность поверхностного рассеяния носителей тока. Такой эффект, на первый взгляд, непонятен. Адсорбция водорода на поверхности W(110) не приводит к реконструкции поверхности вольфрама [5]. Однако, даже при полностью упорядоченном атомарном монослое адсорбата, повторяющем структуру (1x1) сдвиг решетки адатомов в плоскости поверхности относительно решетки верхнего слоя атомов подложки и отличие эффективного сечения рассеяния адатомов и атомов вольфрама вносит дополнительный вклад в диффузность поверхностного рассеяния. Кроме того, известно, что из-за существования двух эквивалентных типов адцентров с тройной координацией на этой грани монослойное покрытие имеет доменную структуру [5]. При этом рассеяние на доменных стенках также уменьшает зеркальность отражения носителей. Перечисленные причины способствуют лишь нарушению когерентности рассеяния носителей тока и, следовательно, не могут вызывать увеличение зеркальности их поверхностного рассеяния, приводящего к уменьшению МС.

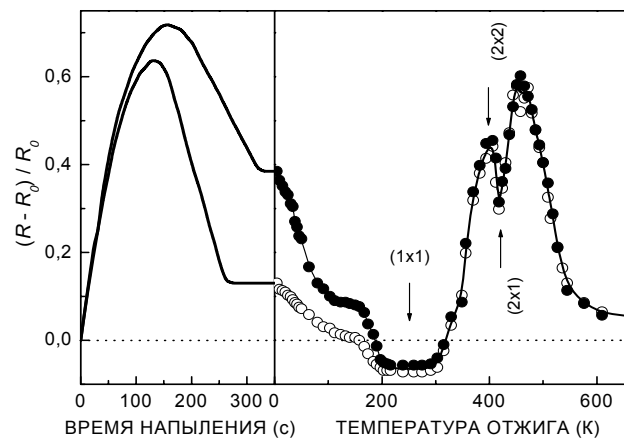


Рис. 1. Изменение МС пластины W(110) при адсорбции водорода и дейтерия и  $T = 4.2\text{K}$  (соответственно верхняя и нижняя кривые в левой части рисунка) и при отжиге напыленных до насыщения пленок адсорбата (светлые кружки – водород, темные – дейтерий). Стрелками указаны области максимального развития двумерных решеток адсорбатов.  $R_0$  – МС пластины с атомночистой поверхностью.

Причина эффекта становится понятной при анализе изменения электронной структуры поверхностных состояний при адсорбции монослоя водорода. Результаты этих исследований для поверхности W(110), выполненные методом фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением, даны на Рис. 2 [6].

В соответствии с законами сохранения переходы между поверхностными и объемными состояниями возможны, если соответствующие проекции частей поверхности Ферми перекрываются (или отличаются на линейную комбинацию векторов поверхностной обратной решетки). Из Рис. 2 следует, что для атомночистой поверхности W(110) возможны прямые или “вертикальные” переходы между носителями поверхностных и объемных состояний. Закон сохранения энергии выполняется вследствие того, что как объемные, так и поверхностные электронные состояния с точностью до  $kT$  имеют энергию Ферми. Например, разрешены переходы между эллиптическими Ферми контурами, центрированными в точках

$\Gamma$  и  $N$  поверхностной зоны Бриллюэна и, соответственно, электронным валетом и дырочным октаэдром объемной поверхности Ферми. С большой вероятностью такие переходы происходят при поверхностном рассеянии носителей. Они являются разновидностью многоканального зеркального рассеяния носителей на поверхности проводников [2].

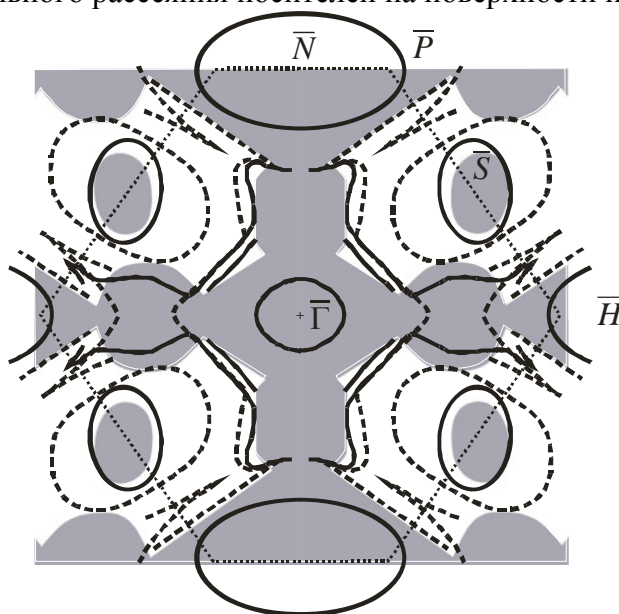


Рис. 2. Теневая проекция поверхности Ферми вольфрама на плоскость (110) (полутоновая область) и структура поверхностных электронных состояний для грани  $W(110)$ : штрихованные линии – поверхность покрыта упорядоченным монослоем водорода, сплошные линии – атомночистая поверхность.[6].

Адсорбция и упорядочение монослойной пленки водорода приводит к исчезновению одних (сплошные линии на Рис. 2) и возникновению других (штриховые линии на Рис 2) Ферми контуров поверхностных состояний. Происходит “выдавливание” Ферми контуров за пределы проекций объемных частей поверхности Ферми. В этом случае переходы между поверхностными и объемными состояниями запрещены и, следовательно, увеличивается зеркальность поверхностного отражения носителей. Небольшая величина эффекта, т.е. изменения МС, связана с относительной малостью фазового объема, занимаемого поверхностными состояниями.

Таким образом, атомночистая поверхность  $W(110)$  рассеивает носители более диффузно, чем поверхность, покрытая упорядоченным монослоем водорода или дейтерия. Сравнение наших данных с данными об изменении топологии Ферми контуров поверхностных состояний при адсорбции водорода на поверхности  $W(110)$  позволяет сделать вывод, что увеличение зеркальности поверхностного рассеяния при формировании монослоя водорода вызвано сокращением возможных каналов переходов между объемными и поверхностными состояниями.

1. O. A. Panchenko, S. V. Sologub. Phys. Rev. **B71**, 193401 (2005).
2. O.A.Panchenko, P. P.Lutsishin, S. V.Sologub. Prog. Surf. Sci. **96**, 193 (2002).
3. M.F.Crommie, C.P.Lutz, D.M.Egler. Science **262**, 218 (1993).
4. L.Burgi, L.Peters, H.Brune, K.Kern, Surf. Sci. **147**, L157 (2000).
5. M.Arnold, G.Hupfauer, P.Bayer, et al. Surf. Sci. **382**, 288 (1997).
6. E. Rotenberg, S. D. Kevan Phys. Rev. Lett. **80**, 2905 (1998).