

- [7] Garate E. P., Shaughnessy C. H., Walsh J. E. // IEEE J. 1987. Vol. QE-23. N 9. P. 1627—1631.
- [8] Garate E. P., Cook R., Heim P. et al. // J. Appl. Phys. 1985. Vol. 58. N 2. P. 627.
- [9] Laven S. V., Branscum J., Colub J. et al. // Appl. Phys. Lett. 1982. Vol. 41. N 5. P. 408—410.
- [10] Garate E. P., Walsh J. E., Shaughnessy C. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1987. Vol. A259. P. 125—127.
- [11] Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир, 1984. 512 с.

Ереванский государственный
университет

Поступило в Редакцию
27 февраля 1989 г.

10; 11

Журнал технической физики, т. 60, в. 2, 1990

© 1990 г.

ВЛИЯНИЕ ЗОНДИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СУЛЬФИДА СВИНЦА

И. А. Пчелкин, Г. К. Зырянов

В ряде случаев применение электронных пучковых методов изучения поверхности твердых тел лимитируется необратимыми изменениями, обусловленными воздействием зондирующего пучка. Известно [1], что облучение электронами поверхности сульфида свинца может приводить как к образованию, так и отжигу дефектов. Анализ спиновой поляризации эмитированных электронов и применение поляризованных первичных пучков открывают новые возможности, в частности в исследовании спинового состояния дефектов поверхности. Ранее [2] было обнаружено, что при двухкратном рассеянии электронов на (100) сульфида свинца в угловой зависимости интенсивности рассеянных электронов появляются особенности вследствие воздействия первичного потока с определенной энергией, что было объяснено возбуждением состояний с определенной ориентацией атомных спинов.

Целью данной работы являлось дальнейшее изучение влияния электронного облучения на состояние грани (100) сульфида свинца.

Исследования проводились на цельнометаллическом низковольтном электронографе, содержащем четырехсеточную электроно-оптическую систему с люминесцентным экраном, пятиступенчатый манипулятор перемещений образца и приставку-анализатор спиновой поляризации дифракционных пучков, основанный на измерении асимметрии рассеяния электронов на углы $+(130-150^\circ)$ и $-(130-150^\circ)$ от пленки золота, полученной испарением в вакууме на графитовую подложку. Поверхность (100) сульфида свинца была приготовлена раскалыванием монокристалла по плоскости спайности на атмосфере.

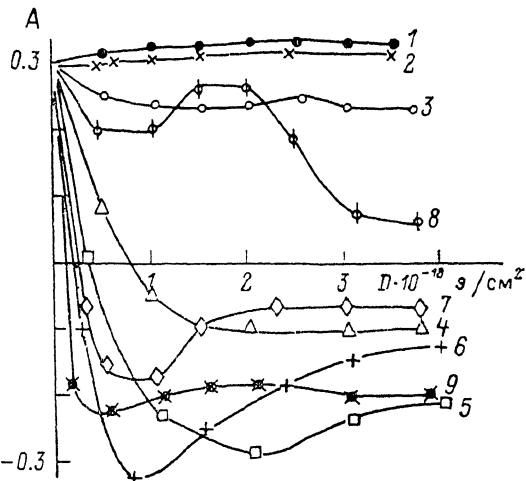
После стандартного обезгаживания вакуумной системы и прогрева образца при температуре 300°C в течение 1 ч были получены картины дифракции медленных электронов от (100) сульфида свинца. Асимметрия рассеяния измерялась для зеркально отраженного дифракционного пучка, выведенного на анализатор через отверстие в люминесцентном экране.

Энергетическая зависимость асимметрии рассеяния носила немонотонный характер и достигала максимального значения 0.08 при энергии первичного пучка электронов 150 эВ, падающего на поверхность (100) PbS. Измерение соотношения высот оже-пиков свинца и серы показало, что под действием электронного облучения происходит обогащение поверхности (100) PbS свинцом. Дифракционные картины, полученные от такой поверхности, соответствуют неперестроенной структуре грани (100). Дополнительных рефлексов не было обнаружено. После нескольких циклов прогрева при 500°C картины дифракции низкоэнергетических электронов стали более контрастными, что говорит об улучшении структуры поверхности. В результате обработки поверхности асимметрия рассеяния достигла значения 0.3 при энергии электронов первичного пучка 150 эВ. Этот максимум асимметрии совпадает с брэгговским пиком 008, что очень удобно для анализа спиновой поляризации дифрагировавших электронов. Однако и для стабилизированной прогревом поверхности (100) PbS наблюдалось сильное влияние электронного облучения на асимметрию рассеяния.

На рисунке представлены зависимости асимметрии рассеяния электронов с энергией 150 эВ от дозы облучения образца электронами с энергией в интервале от 100 до 500 эВ. При этом наблюдалось уменьшение диаметра пучка от 1.0—1.2 до 0.5—0.7 мм, что учтено при определении дозы облучения. Неравномерное распределение интенсивности по сечению

электронного потока при оценке дозы облучения не учитывалось. Состояние поверхности (100) PbS приводилось к исходному путем отжига при $T=800$ К в течение часа. В результате отжига восстанавливалось первоначальное значение асимметрии рассеяния $A=0.3 \pm 0.03$. Как видно из рисунка, имеется значительное различие в поведении асимметрии в зависимости от того, с какой энергией электроны бомбардируют поверхность (100) PbS. Так, при бомбардировке электронами с энергией до 150 эВ асимметрия рассеяния практически не изменяется. При увеличении энергии бомбардирующих электронов наблюдается уменьшение асимметрии, она меняет знак, достигает максимального отрицательного значения и при дальнейшем облучении выходит на насыщение с уменьшением ее относительной величины. Наибольшая скорость изменения асимметрии наблюдается в области энергий первичных электронов 250 и 500 эВ.

Если исходить из того, что изменение асимметрии рассеяния связано с относительным увеличением концентрации свинца на поверхности (100) сульфида свинца под действием электронной бомбардировки, то, вероятно, ход зависимости асимметрии рассеяния от дозы облучения должен был бы носить подобный характер для электронов разной энергии. Однако кривые на рис. 1



Зависимость асимметрии рассеяния электронов с энергией 150 эВ от дозы облучения образца электронами.

Энергия электронов: 1 — 100, 2 — 125, 3 — 150, 4 — 180, 5 — 200, 6 — 250, 7 — 300, 8 — 350, 9 — 500 эВ.

сильно различаются не только по скорости изменения асимметрии, но и по значениям, которых достигает асимметрия в области больших доз облучения.

При объяснении энергетической зависимости асимметрии следует принять во внимание, что величина энергии 250 эВ, при которой наблюдается наибольшая скорость изменения асимметрии, хорошо согласуется с энергией ионизации уровня L_{II} серы, равной 232 эВ [3], а заметное изменение асимметрии начинается при энергии бомбардирующих электронов несколько выше 150 эВ, что соответствует энергии ионизации уровня L_{II} , равной 165.4 эВ. Можно предположить, что, кроме механизма спин-орбитального взаимодействия, ответственного за спиновую поляризацию электронов при рассеянии от слабомагнитных материалов, следует учитывать обменное взаимодействие с возбужденными состояниями, которые могут возникать для любых элементов (вне зависимости от их атомного номера) и существенно изменять картину рассеяния. По-видимому, в данном эксперименте изменение асимметрии связано с изменением рассеивающего потенциала, вызванным электронной бомбардировкой. В результате электронного облучения на (100) PbS образуются дефекты, т. е. нарушения периодического потенциала, с нескомпенсированными спинами, которые изменяют не только величину, но и знак спиновой поляризации дифрагированных электронов как вследствие изменения величины спин-орбитального, так и обменного, в частности спин-спинового, взаимодействия.

Список литературы

- [1] Зырянов Г. К., Арбузов С. Н. // ФТП. 1975. Т. 9. Вып. 11. С. 2183—2185.
- [2] Зырянов Г. К., Пчелкин И. А., Федоров А. В. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. Вып. 16. С. 987—990.
- [3] Berden J. A., Burr A. F. Atomic Energy Levels. Oak Ridge (Tennessee), 1965. 533 p.

Ленинградский
государственный университет

Поступило в Редакцию
28 декабря 1988 г.
В окончательной редакции
21 марта 1989 г.