

- [6] Фридкин В. М. Сегнетоэлектрики-полупроводники. М.: Наука, 1978. 408 с.  
 [7] Макаренко Е. И., Проценко Н. П., Розач Е. Д., Савченко Э. А. // Электронная техника. Сер. 6. 1988. № 2. С. 231.

Ростовский-на-Дону государственный университет  
 Научно-исследовательский институт физики

Поступило в Редакцию  
 10 сентября 1990 г.

11

© 1991 г.

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1992

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЛАЗЕРНОЙ ДЕСОРБЦИИ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ СЕРЫ С ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА МОЛИБДЕНИТА

Э. Ф. Лазнева, И. В. Барышев

Одно из важнейших направлений современной науки и техники связано с проблемой взаимодействия лазерного излучения с твердым телом. В последнее время значительный интерес вызывают исследования физико-химических процессов, протекающих на поверхности полупроводников при интенсивных лазерном излучения, не приводящего к разрушению поверхности, когда кристалл после облучения сохраняет свои полупроводниковые свойства, т. е. при интенсивностях меньше порога разрушения [1].

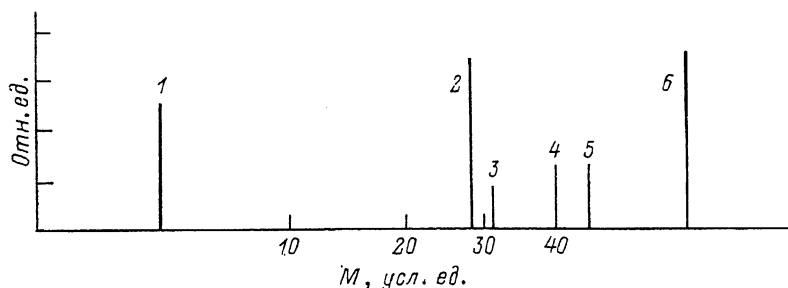


Рис. 1. Спектр масс нейтральных частиц при  $P=2$  МВт/см<sup>2</sup>.

1 — H<sub>2</sub>, 2 — CO+H<sub>2</sub>, 3 — S, 4 — Ag, 5 — CO<sub>2</sub>, 6 — S<sub>2</sub>.

Наиболее интересным результатом лазерно-десорбционных исследований явилось установление корреляции характеристик десорбируемых частиц с типом химических связей на поверхности [2, 3]. При сравнительном анализе лазерной десорбции с поверхности кремния и его оксида [2], а также в ряду полупроводниковых соединений GaN, GaP, GaAs, CdS [3] показано, что преимущественный выход нейтральных частиц с низким десорбционным порогом реализуется с поверхности соединений с преимущественно ионным типом связей.

В предлагаемой работе измерение энергетических распределений нейтральных частиц, десорбируемых с поверхности одиночным лазерным импульсом, осуществляется методом двойного пролета [4]. С помощью данной методики исследована поверхность монокристалла MoS<sub>2</sub>, относящегося к классу слоистых структур. Этот класс веществ характеризуется сильной анизотропией кристаллического строения и химических связей. Атомные плоскости кристалла объединены в группы, называемые слоями. Связи атомов внутри слоя направлены внутрь него и значительно сильнее связей между слоями. Такие структуры представляют непосредственный интерес, являясь реализацией двумерных систем. Соединению MoS<sub>2</sub> соответствует слоистая структура, в которой каждый слой состоит из трех атомных плоскостей, так что лист гексагонально упакованных атомов Мо оказывается зажатым между двумя гексагонально упакованными ли-

стами серы. Взаимная ориентация плоскостей молибдена и серы такова, что вокруг каждого атома металла образуется тригонально призматическая конфигурация [5].

Фотостимулированная десорбция с поверхности  $\text{MoS}_2$  изучалась при интенсивностях светового потока, недостаточных для разрушения материала. В работе исследовалось воздействие импульсного излучения первой гармоники (1064 нм) АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  лазера с длительностью импульса 15 нс.

Исследования проводились в вакуумную камеру ( $10^{-8}$  Тор). Изучался состав и энергетические пороги появления нейтральных частиц, десорбируемых с поверхности под действием лазерного излучения, энергетические распределения нейтральных частиц, их форма и амплитудные характеристики.

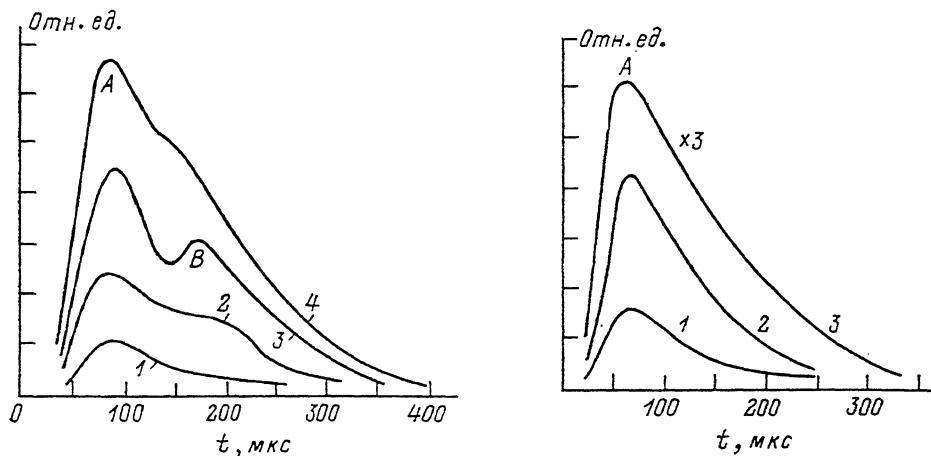


Рис. 2. Динамика изменений энергораспределений  $\text{S}_2$  в зависимости от плотности мощности лазерного облучения.

1 — 1.6, 2 — 1.8, 3 — 2, 4 — 2.5 МВт/см<sup>2</sup>; А — 85 мкс, 2700 К; В — 170 мкс, 700 К.

Рис. 3. Динамика изменений энергораспределений атомарной серы в зависимости от плотности мощности излучения лазера.

1 — 1.9, 2 — 2.3, 3 — 3 МВт/см<sup>2</sup>; А — 60 мкс, 2700 К.

На рис. 1 представлен спектр масс десорбируемых нейтральных частиц с поверхности  $\text{MoS}_2$ , полученный при плотности мощности лазерного излучения 2 МВт/см<sup>2</sup>. Основную часть остаточных газов составляют  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO} + \text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , Ar. Пороги появления эмиссии составляют для 32 массы (S) 1.8 МВт/см<sup>2</sup>, для 64 массы 1.5 МВт/см<sup>2</sup>.

Для исследования возможного механизма взаимодействия света с поверхностью монокристалла  $\text{MoS}_2$  были измерены энергетические распределения продуктов десорбции. На рис. 2 представлена динамика изменения энергораспределений  $\text{S}_2$  в зависимости от плотности мощности лазерного импульса. Если при низких интенсивностях (1.7 МВт/см<sup>2</sup>) в распределении отчетливо прослеживается один максимум, то при увеличении интенсивности распределения состоят из двух компонент: высокоэнергетического максимума с характерным временем пролета 85 мкс и низкоэнергетического максимума в интервале 100—200 мкс. Для высокоэнергетического максимума характерна независимость его положения от интенсивности облучения. Он также характеризуется очень высокой эффективной температурой 2700 К, что значительно превосходит температуру плавления  $\text{MoS}_2$  (1450 К). Для низкоэнергетического максимума прослеживается тенденция увеличения энергии (уменьшение времени пролета) по мере повышения мощности излучения. Этому максимуму, например, при плотности мощности 2 МВт/см<sup>2</sup> соответствует температура 700 К, что согласуется с температурой, достигаемой поверхностью за счет разогрева.

На рис. 3 представлена динамика изменения энергораспределений для атомарной серы S. В энергораспределениях присутствует только один максимум,

положение которого не изменяется при увеличении интенсивности облучения. Эффективная температура, соответствующая ему, также очень высока и составляет 2700 К.

Исходя из проведенного анализа времяпродолжительных распределений атомов и молекул серы, можно сделать вывод о возможном существовании наряду с десорбцией, обусловленной тепловым действием света, механизмов нетермического характера, обуславливающих появление высокотемпературных составляющих в энергораспределениях, эффективная температура которых остается неизменной при возрастании интенсивности облучения и соответственно при усилении теплового воздействия света на образец.

Наличие в десорбционном потоке как атомарной, так и молекулярной серы свидетельствует о присутствии на поверхности как атомов серы, входящих в состав матрицы твердого тела, так и адсорбционноподобных молекулярных комплексов  $S_2$ , как это отмечалось раньше для поверхностей соединений  $A_2B_6$  [6].

### Список литературы

- [1] Лазнева Э. Ф. Лазерная десорбция. Л., 1990. 200 с.
- [2] Лазнева Э. Ф., Федоров И. Н. // Поверхность. 1989. № 4. С. 154—155.
- [3] Ichige K., Matsumoto Y., Namiki A. // Nucl. Instr. Meth. 1988. Vol. B33. P. 820—823.
- [4] Лазнева Э. Ф., Турцев А. М. // ПТЭ. 1984. № 4. С. 125—127.
- [5] Yoffe A. D. // Chem. Soc. Rev. 1976. Vol. 5. P. 51.
- [6] Пикус Г. Я., Карбовский С. В., Масюта Ю. В. // УФЖ. 1983. Т. 28. № 7. С. 1236—1242.

С.-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию  
5 октября 1990 г.

07; 12

Журнал технической физики, т. 61, в. 9, 1991

© 1991 г.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ УСРЕДНЕННЫХ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОГРАММ КОЛЕБАНИЙ ДВУХЭКСПОЗИЦИОННЫМ МЕТОДОМ В ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Г. А. Брытков

Процедура получения картины спекл-корреляционных полос в электронной корреляционной спекл-интерферометрии (ЭКСИ) осуществляется с помощью вычитания (двухэкспозиционный метод) либо сложения (метод усреднения) видеосигналов, в которые телекамера преобразует изображение исследуемого объекта, сформированное спекл-интерферометром [1, 2]. Метод усреднения, применяемый для исследования форм колебаний, требует использования сложной, в целом уникальной системы фильтрации видеосигнала с последующим его выпрямлением, чтобы перевести вариации контраста спекл-структуры изображения колеблющегося объекта в вариации интенсивности. В методе двух экспозиций этот перевод происходит автоматически в процессе вычитания с более высоким контрастом получаемых корреляционных полос. К тому же сам метод может быть реализован на программном уровне с учетом возможностей электронно-вычислительных систем анализа изображений, получивших в последнее время широкое распространение. Однако напрямую использовать метод двух экспозиций для получения усредненных спекл-интерферограмм не удастся, поскольку время экспозиции в ЭКСИ, равное  $40 \cdot 10^{-3}$  с, значительно больше периода исследуемых колебаний, которые, как правило, лежат в интервале  $20 \cdot 10^{-3} - 20 \cdot 10^{-6}$  с, и разность между двумя экспозициями дает на дисплее ну-