

01; 06

© 1992

## $S$ - ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ПОЛЯРИТОНЫ НА ШЕРОХОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКА

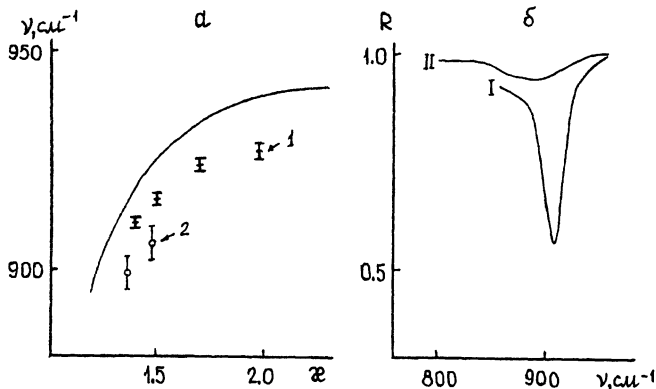
Е.Ф. Венгер, А.В. Гончаренко,  
Ю.А. Пасечник

Известно, что для возбуждения поверхностных поляритонов (ПП) необходимым условием является наличие  $p$ -компоненты в падающем излучении [1] (в идеальном полубесконечном изотропном кристалле эллиптически поляризованный электрический вектор ПП вращается в сагиттальной плоскости). Это условие нарушается для анизотропных сред, где, вообще говоря, ПП имеют смешанную поляризацию  $Sp$ -типа, кроме некоторых частных случаев (например, когда оптическая ось одноосного кристалла перпендикулярна плоскости раздела) [2].

Сложная ситуация в случае наличия на поверхности случайных шероховатостей. А. Марадуниным получено дисперсионное уравнение для индуцированных такими шероховатостями  $S$ -поляризованных ПП, не имеющих аналогов для идеальной плоской поверхности ([3], гл. 10). К сожалению, автором не исследуется вопрос существования нетривиальных физических решений полученного весьма сложного уравнения. С другой стороны, в [3], гл. 9, показано, что на шероховатой поверхности возможна деполяризация падающего излучения, что подтверждается экспериментально. Автор связывает ее с процессом двойного рассеяния, при котором возникает перпендикулярная к исходной плоскости поляризации составляющая излучающего диполя.

К рассматриваемому вопросу возможен и другой подход. Известно, что ПП могут связываться с  $S$ -поляризованным излучением при нанесении на поверхность определенным образом ориентированных штрихов [4]. Однако случайно-шероховатую поверхность можно представить как набор решеток с различными постоянными и произвольной ориентацией. Такая модель, очевидно, допускает принципиальную возможность возбуждения  $S$ -поляризованных ПП, хотя и оставляет в стороне вопрос о возможности их экспериментального наблюдения.

Нами был поставлен эксперимент на гексагональной модификации высокоомного карбида кремния ( $SiC6H$ ) с искусственно созданными шероховатостями поверхности. Отметим, что анизотропия исходного материала весьма незначительна, и пластины были вырезаны перпендикулярно оптической оси. Шероховатости были получены в результате шлифования исходной зеркальной поверхности образца абразивом карбида бора  $BC-3$ . По данным электронной микроскопии,



а) Дисперсионные зависимости ПП на  $\text{SiC}_6\text{H}$ . Сплошная кривая – теоретическая дисперсия р-поляризованных ПП на идеальной поверхности. 1 – дисперсия р-поляризованных ПП на случайно-шероховатой поверхности (эксперимент). 2 – частотное положение минимумов в спектрах НПВО в S-поляризованном свете (эксперимент).  
 б) Экспериментальные спектры НПВО в р-поляризованном (I) ( $x=1.4$ ) и S-поляризованном (II) ( $x=1.36$ ) свете на шероховатой поверхности  $\text{SiC}_6\text{H}$ .

при этом образуется рельефный матовый слой с характерными размерами неровностей поверхности 1–2 мкм. Ранее было установлено, что на такой поверхности снижается частота р-поляризованных поверхностных поляритонов (уменьшается их фазовая скорость) и уширяются спектры нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) т. е. возрастает затухание ПП [5]. Прецизионные измерения спектров НПВО в S-поляризованном свете показали, что их минимумы еще более смещаются в длинноволновую сторону, а полуширина еще более увеличивается (см. рисунок). При этом смещение частоты составляет в окрестности нормированного волнового числа  $x = k_x / 2\pi\nu_T = 1.4 / \nu_T$  – волновое число поперечного оптического фона  $\text{SiC}_6\text{H}$ ,  $k_x$  – продольная составляющая волнового-вектора ПП/  $10\text{--}12\text{ см}^{-1}$ , а полуширина возрастает в 2.5–3 раза. Учитывая, что глубина минимума в спектре НПВО в S-поляризованном свете при этом не превышает 4–5% (см. рисунок, часть б), становится ясно, почему соответствующие минимумы до сих пор не были обнаружены.

Проводя интерпретацию полученных результатов, необходимо сделать ряд замечаний. В работе [6] Рахманом и Марадуниным предложена простая модель описания взаимодействия света со случайно-шероховатой поверхностью. Суть ее заключается в том, что такая поверхность заменяется тонкой однородной пленкой с толщиной

$$d = 3\pi^{1/2} \frac{\langle \delta^2 \rangle}{\zeta}, \quad (1)$$

где  $\langle \delta^2 \rangle$  – средний квадрат отклонения поверхности от плоскости,  $\zeta$  – поперечная корреляционная длина. Эффективная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_s$  такой пленки может быть представлена в виде

$$\epsilon_s(\omega) = \frac{1 + \epsilon(\omega)}{2}, \quad (2)$$

где  $\epsilon(\omega)$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

Конечно, соотношения (1–2) задают довольно грубую модель. Тем не менее, она позволяет, по крайней мере качественно, объяснить такие явления, как низкочастотный сдвиг дисперсии ПП [7] и расщепление дисперсии поверхностных плазмонов [8]. Покажем, что в рамках такой модели в рассматриваемой системе не могут существовать ни  $S$ -поляризованные (TE-), ни  $p$ -поляризованные (TM-) волноводные поляритонные моды [9]. Действительно, они возможны лишь в случае, если на обеих границах пленки выполняется условие полного внутреннего отражения. Пренебрегая затуханием (что имеет смысл, т. к. в противном случае ПВО, вообще говоря, невозможно), получим систему

$$\begin{cases} \epsilon_s(\omega) > \epsilon(\omega), \\ \epsilon_s(\omega) > 1, \end{cases} \quad (3)$$

которая с учетом соотношения (2) не имеет решений. Таким образом, рассматриваемая модель не допускает существование нерадиационных волноводных мод, в том числе и  $S$ -типа.

Наши оценки погрешностей измерений и воспроизводимость результатов позволяют утверждать, что в  $S$ -поляризованном свете на шероховатой поверхности полупроводника ниже частоты обычных  $p$ -поляризованных ПП возбуждаются сильнозатухающие колебания, обладающие частотной дисперсией. Мы связываем их с распространением ПП  $S$ -типа по поверхности, моделируемой набором случайно-ориентированных решеток.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А г р а н о в и ч В.М. // УФН. 1975. Т. 115. № 2. С. 199–237.
- [2] С т р и ж е в с к и й В.Л., П у ч к о в с к а я Г.А., Ф р о л к о в Ю.А., Ч е п и л к о Н.М., Я ш к и р Ю.Н. / В сб. „Спектроскопия молекул и кристаллов“ Киев, Наукова думка, 1978. С. 66–75.
- [3] Поверхностные поляритоны / Под ред. В.М. Аграновича, Д. Милса, М.: Наука, 1985. 525 с.

- [4] S a m b l e s J.R. // J. Phys. and Chem. Solids. 1989. V. 50. N 1. P. 1-4.
- [5] В е н г е р Е.Ф., П а с е ч н и к Ю.А., С н и т к о О.В., С т р и ж е в с к и й В.С. // УФЖ. 1980. Т. 25. № 3. С. 1460-1468.
- [6] R a h m a n T.S., M a r a d u d i n A.A. // Phys Rev. B. 1979. V. 19. N 8. P. 4012-1019.
- [7] U s h i o d a S., A z i z a A., V a l d e z J.B., M a t t e i G. // Phys. Rev. B. 1979. V. 19. N 8. P. 4012-4019.
- [8] K r e t s c h m a n n E., F e r r e l l T.Z., A s h l e y J.C. // Phys. Rev. Zett. 1979. V. 42. N 19. P. 1312-1314.
- [9] B u r s h t a I.I., V e n g e r E.F., P a s e c h n i k Y u.A., S n i t k o O.V. // Phys. State Sol. (b) 1988. V. 146. N 2. P. 517-524.

Институт полупроводников  
АН Украины

Поступило в Редакцию  
30 декабря 1991 г.