

Обнаруженный эффект канализации энергии поверхностной волны может быть полезен при разработке интегральных устройств обработки информации на основе МСВ.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] C a s t e r a J.P. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 6. P. 2506-2511.
- [2] В у г а л ь т е р Г.А., К о р о в и н А.Г. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. 1 21. С. 73-76.
- [3] В о n g i a n n i W.L. // J. Appl. Phys. 1972. V. 43. N 6. P. 2541-2548.
- [4] В а л я в с к и й А.Б., В а ш к о в с к и й А.В., С т а л ь м а х о в А.В., Т ю л ю к и н В.А. // РЭ. 1988. Т. 33. № 9. С. 1820-1830.
- [5] В а ш к о в с к и й А.В., Ш а х н а з а р я н Д.Г. // РЭ 1987. Т. 32. № 4. С. 719-723.
- [6] В а л я в с к и й А.Б., В а ш к о в с к и й А.В., Г р е ч у ш к и н К.В., С т а л ь м а х о в А.В. // РЭ. 1988. Т. 33. № 9. С. 1830-1834.

Поступило в Редакцию
10 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

05.3; 07

© 1990

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПОРЯДОК-БЕСПОРЯДОК В ТВИСТ-НЕМАТИКЕ, СТИМУЛИРОВАННЫЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ КРЕМНИЯ

А.Е. А л е к с е е в, Ю.К. К о р н и е н к о,
Л.Д. Ш е в ч е н к о, А.П. Ф е д ч у к

Известно [1], что нематический жидкий кристалл (НЖК) существует всегда в состоянии одноосного упорядочения длинных осей молекул. Фазовый переход в состояние двуосной упорядоченности, включая упорядочение дипольной подсистемы, был предсказан теоретически [2], но не наблюдался экспериментально.

В данной работе предпринята попытка обнаружения фазового перехода в состояние двуосной упорядоченности в планарно ориентированном слое НЖК, контактирующего с поверхностью монокристалла кремния, покрытой туннельно прозрачным слоем окисла, свойства которого были исследованы нами ранее [3]. Эффект регистрировался по зависимости сигнала конденсаторной фотоЭДС (КФЭДС) V_{φ}

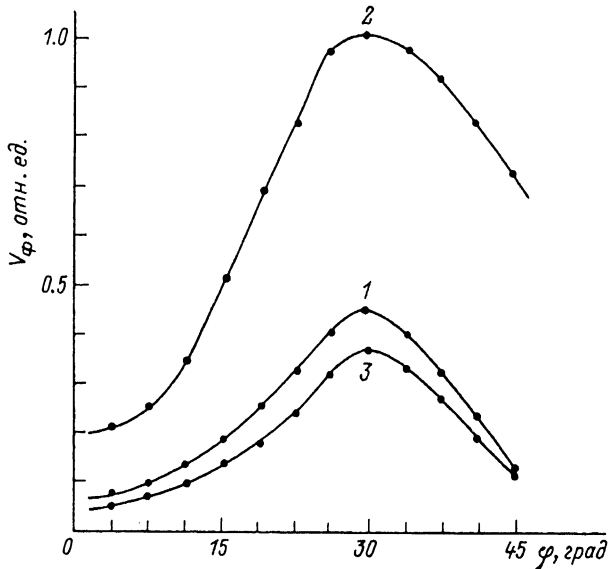


Рис. 1. Зависимость V_{φ} от угла закручивания слоя МББА при разных длинах волн зондирующего излучения: 1 – 0.64 мкм, 2 – 0.96 мкм, 3 – 1.14 мкм.

от угла закручивания твист-ячейки, который изменялся в пределах от 0° до 90° . В качестве монокристаллической подложки, стимулирующей ориентационный фазовый переход в подсистеме диполей молекул НЖК, был выбран срез (111) кремния, легированного бором в концентрации $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Роль НЖК выполнял модельный нематик МББА, для которого хорошо известны константы упругости и энергия сцепления со стеклянной подложкой, покрытой прозрачным проводящим слоем двуокиси олова, служащим электродом фотоэлектрической ячейки [4]. Слой НЖК ориентировался планарно путем создания микрорельефа на поверхности этого электрода.

Обнаружено, что величина сигнала V_{φ} существенно возрастала с уменьшением толщины ЖК-слоя d , что может объясняться оптимизацией фотоотклика ячейки при совпадении величины d и длины корреляции ориентации молекул ЖК-слоя.

Снятие спектральных зависимостей КФЭДС в твист-ячейке с регулируемым углом закручивания φ (рис. 1) показало, что существует длина волны λ_{opt} (в нашем случае равная 0.96 мкм), которая наиболее чувствительна к изменению φ . Естественно предположить, что в этом случае толщина области генерации неравно-

весных носителей совпадает с толщиной области пространственного заряда в кремнии, в результате чего обеспечивается максимальная эффективность собирания фотогенерированных пар носителей.

На рис. 2 показаны угловые зависимости сигнала КФЭДС для исходного состояния поверхности кремния с удаленным естественным окислом, что, согласно [5], соответствует ПСР $Si(111) - (2 \times 1)$ (кривая 1, рис. 2) и для случая отожженной в вакууме 10^{-6} мм рт. ст. при 700 К поверхности этой же пластины (кривая 2, рис. 2). Известно [6], что отжиг Si при указанной температуре приводит к реконструкции ПСР к виду $Si(111) - (7 \times 7)$. Число максимумов зависимости коррелировало при этом с числом осей легкого ориентирования планарного слоя НЖК при изменении φ в пределах первого квадранта. Одновременно было замечено ослабление сигнала V_{φ} при выдержке пластины Si в атмосфере, что соответствовало росту толщины естественного окисла на поверхности полупроводника.

Наблюдаемые экспериментальные факты можно описать с единой точки зрения, предположив, что изменение угла φ в твист-ячейке приводит вследствие передачи механического момента от слоя НЖК, граничащего с прозрачным электродом, к ЖК-слою, непосредственно взаимодействующему с ПСР кремния. В результате такого взаимодействия возникает возможность азимутальной переориентации директора по ПСР, сопровождающейся переориентацией дипольной компоненты двойного слоя [7] и ее фиксации вследствие минимизации свободной энергии системы диполи НЖК-ПСР энергетическим профилем зондируемой поверхности полупроводника. Упорядоченный слой, прилегающий к ПСР, приводит к появлению дополнительного скачка потенциала у поверхности полупроводника, вследствие чего изменяется ширина области пространственного заряда W и сигнал V_{φ} , определяемый выражением

$$V_{\varphi} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{\phi \alpha L^2 \exp(-\alpha W)}{n_0 (1 + \alpha L)(D + SL)} + 1 \right], \quad (1)$$

где ϕ – поглощаемый поток квантов, n_0 – концентрация неосновных носителей в объеме, α – коэффициент поглощения, L – диффузионная длина, S – скорость поверхностной рекомбинации.

Из соображений минимизации свободной энергии, что определяет возможность наблюдаемого ориентационного фазового перехода, можно в соответствии с [8] записать пространственную зависимость угла поворота директора $\vartheta(\mathbf{z})$ в слое НЖК в виде

$$\vartheta(\mathbf{z}) = \frac{A_2 \varphi (z + K_{22}/A_1)}{K_{22}(1 + A_2/A_1) + A_2 d}, \quad (2)$$

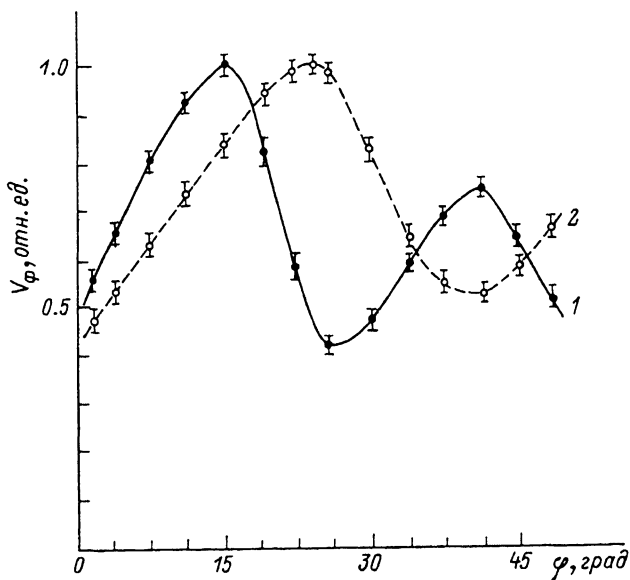


Рис. 2. Зависимость $V_\varphi(\varphi)$ для различных модификаций ПСР кремния: 1 - (2x1), 2 - (7x7).

где z - координата, перпендикулярная ограничивающим поверхностям ячейки, A_1 и A_2 - энергия сцепления слоя НЖК с поверхностью кремния и двуокиси олова соответственно, K_{22} - константа упругости Франка. Полагая $z=0$ и $z=d$, получим выражение для углов поворота директора на верхней и нижней поверхностях twist-ячейки. Отсюда, зная по данным [9] величину $A_2=5 \cdot 10^{-2}$ эрг/см², можно получить неизвестное значение A_1 . В нашем случае эта величина равна $1.6 \cdot 10^{-2}$ эрг/см². Подобное решение уравнения (1) возможно при точном знании типа ПСР исследуемого полупроводника и точных значений углов взаимной ориентации осей легкого ориентирования и их расположения относительно базового среза пластины монокристалла.

Результаты данной работы указывают на наличие двусно ориентированной дипольно упорядоченной фазы НЖК в twist-ячейке с ПСР и, кроме того, позволяют при известном типе ПСР определить энергию сцепления ЖК с полупроводниковой подложкой, при этом возможно решение и обратной задачи - определения взаимной ориентации осей легкого ориентирования и типа ПСР по известной энергии сцепления данного ЖК с поверхностью исследуемого полупроводника.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.М. Блинову, В.Ф. Киселеву, С.Н. Козлову за многочисленные полезные обсуждения и особую признательность Л.А. Бересневу, обратившему наше внимание на результаты работы [10].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Блинов Л.М., Кац Е.И., Сонин А.А. // УФН. 1987. Т. 152. С. 449-479.
- [2] Козлов В.А., Петькин Н.В., Труфанов Н.А. // Поверхность: физика, химия, механика. 1988. В. 6. С. 136-138.
- [3] Федчук А.П., Шевченко Л.Д. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 2. С. 209-211.
- [4] Блинов Л.М., Сонин А.А., Барник М.И. // Кристаллография. 1989. Т. 34. С. 413-419.
- [5] Haneman D., Chernov A.A. // Surf. Sci. 1989. V. 215. P. 135-137.
- [6] Большаков Л.А., Вещунов М.С. // ЖЭТФ. 1986. Т. 90. С. 569-580.
- [7] Корниенко Ю.К., Баранов С.Ф., Загинайло И.В., Федчук А.П., Сердюк В.В. // УФЖ. 1986. Т. 31. В. 10. С. 1522-1530.
- [8] Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. 320 с.
- [9] Лукьянченко Е.С., Григос'В.И., Грибов С.В. // Поверхность: физика, химия, механика. 1985. В. 2. С. 121-125.
- [10] Jerome R., Vechhoefer J., Bosseboeuf A., Pieranski P. - Proc. Sth. Liq. Cryst. Conf. Soc. Countries. 1989, Poland, Krakov. P. 92-95.

Одесский
государственный университет
им. И.И. Мечникова

Поступило в Редакцию
4 мая 1990 г.