



УДК 620.1.72:532.783

## ИОННАЯ АДСОРБЦИЯ И ОРИЕНТАЦИЯ НЕМАТИКА НА КАРБИДЕ КРЕМНИЯ В НЕМАТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ

В.С. Захвалинский, С.И. Кучеев, Н.Н. Межаков,  
Э.О. Перервенко, Е.А. Пилюк

Белгородский государственный университет,  
ул. Победы, 85, 308015, Россия, e-mail: [skucheev@yahoo.com](mailto:skucheev@yahoo.com)

**Аннотация.** В экспериментах исследовались пороги светочувствительности структур типа Si/SiC/нематик/ITO и ориентация в этих структурах нематического жидкого кристалла на наноразмерных пленках карбида кремния (SiC). Установлено, что (1) для нематика Д205, используемого без дополнительной очистки, на пленке SiC формируется гомеотропная ориентация, и (2) пороги светочувствительности структур в окрестности пленки SiC превышают более чем на несколько вольт пороги над Si для свежеприготовленных структур. Особенности светочувствительности и ориентации нематика связываются с адсорбцией на развитой поверхности пленки соответственно ионной подсистемы и определенных компонент жидкокристаллического материала, эффективно формирующих гомеотропную ориентацию.

**Ключевые слова:** карбид кремния, нематик, ориентация, ион, светочувствительность.

Оптически адресуемые жидкокристаллические модуляторы света, базирующиеся на принципах функционирования МДП структур, являются важной частью приборов и систем амплитудной и/или фазовой обработки оптического волнового фронта [1,2]. К ориентации молекул жидкокристаллического материала [3], как среды, которая непосредственно модулирует свет, предъявляются определенные требования. В приборах дифракционного типа, одним из важных требований является отсутствие или минимизация возникновения постоянных, электрически неуправляемых, дифракционных картин, обычно возникающих на микрорельефе системы электродов или периодически расположенных пленках, ориентирующих молекулы жидкого кристалла при освещении модулятора когерентным излучением. Требование планаризации достаточно жесткое. Для контактных методов, в рамках которых в подавляющем большинстве случаев используются механически натертые органические пленки до десятых микрометра толщиной, выполнение его достаточно сложное. Поэтому поиск неконтактных методов получения (изменения) требуемой ориентации молекул жидкого кристалла на определенных участках поверхности с микронным разрешением (в плоскости) и наноразмерным рельефом по высоте, гарантирующим отсутствие дифракции, остается актуальной задачей.

Другим важным направлением расширения функциональных возможностей оптически адресуемых модуляторов света является контролируемое варьирование поверхностной проводимости участков поверхности полупроводниковой части модулятора требуемой формы и размеров с разрешением в доли микрон. Существующие методы основаны на легировании поверхности полупроводника, что значительно усложняет, и соответственно, удорожает подобные структуры.

В данной работе экспериментально рассмотрена возможность использовать наноразмерные плёнки SiC с целью изменения ориентации молекул нематического жидкого кристалла и варьирования пороговых напряжений светочувствительности структур Si/SiC/нематик/ITO как прототипа оптически адресуемого жидкокристаллического модулятора света.

В качестве подложки в структуре использовался образец монокристаллического кремния n - типа проводимости с удельным сопротивлением 7,5 Ом см. Пленки SiC получали магнетронным методом в атмосфере Ar [3]. Толщина пленок SiC варьировалась временем напыления и не превышала пару десятков нанометров. Контроль толщины осуществлялся атомным силовым микроскопом [3]. Пленки SiC на поверхности Si напылялись в виде полосок, что давало возможность проводить сравнительный анализ ориентации нематика и электрооптических характеристик структуры соответствующих поверхностям SiC и Si в одной и той же структуре. Другим электродом служила плёнка окиси индия (ITO) с натертой полиимидной плёнкой, которая обеспечивает референтную жесткую планарную ориентацию молекул жидкого кристалла.

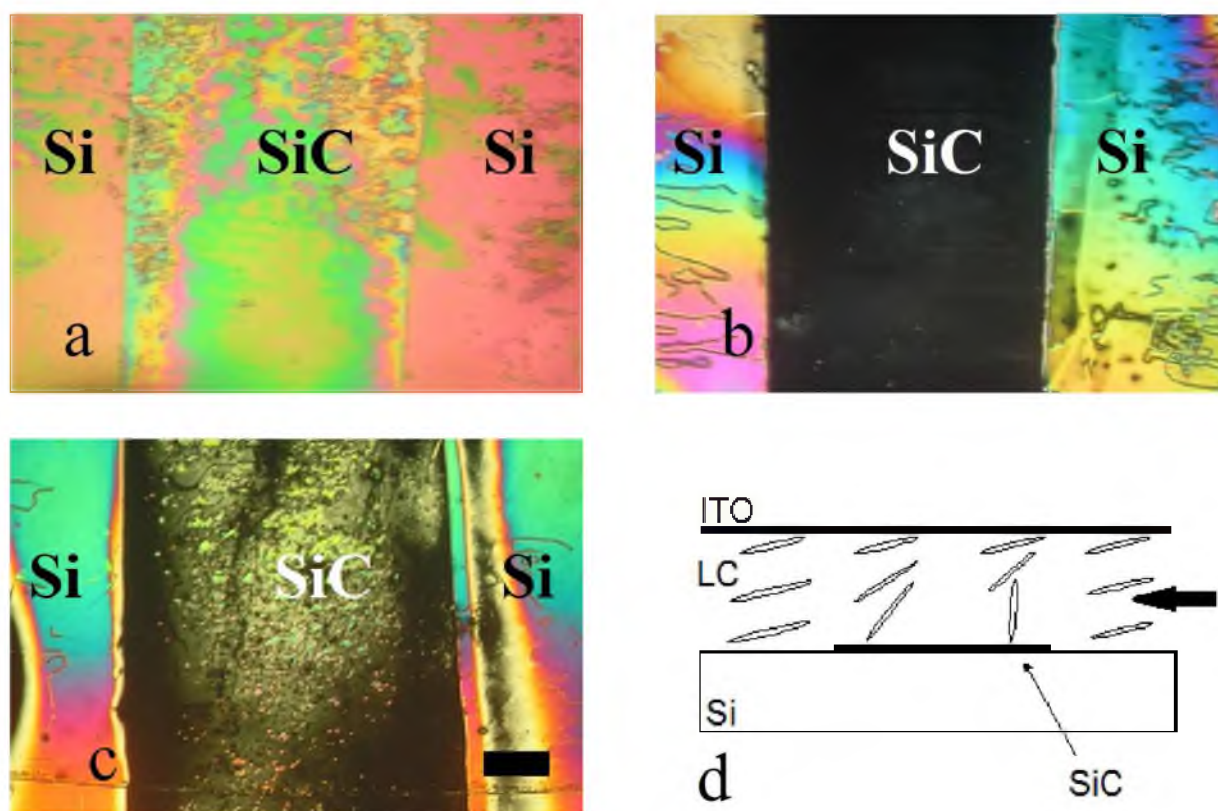


Рис. 1. Ориентация нематика в окрестности пленки SiC (Толщина 15-17 nm). а) структура Si/SiC/D205/ITO. Толщина жк слоя 5 мкм. б) , с) структура Si/SiC/D205 (без покровного электрода ITO) в окрестности ввода жк материала и на дистанции ~ 1,5 см соответственно. d) схематичное представление ориентации нематика в структуре. Стрелка указывает направление ввода жк материала. Масштаб 170 мкм.



В работе использовался нематический жидкий кристалл 4'-пентил-бифенил-карбонитрил без дополнительной очистки, который заправлялся в структуру в изотропной фазе капиллярным образом в одной точке ввода.

Поляризационные исследования ориентации нематика в структурах показали, что над пленкой SiC в сравнении с поверхностью Si имеет место изменение ориентации нематика. Эти изменения оптически регистрируются как в самой жк структуре, так и после удаления из неё стеклянного электрода ITO. На рис. 1 представлены типичные поляризационные изображения фрагментов жк структур в окрестности пленки SiC. Хорошо видно (рис. 1а), что над пленкой SiC «оптическая» толщина жидкокристаллического слоя «тоньше», чем над поверхностью Si, что проявляется в более насыщенной цветами интерференционной картине. Удаление покровного стекла из структуры (рис. 1 б, с) подтверждает, что над пленкой SiC действительно имеет место изменение ориентации нематика и установившаяся ориентация является гомеотропной. Эта ориентация нематика более качественная в окрестности ввода жк в капилляр, но по мере удаления от точки ввода, гомеотропная ориентация ухудшается (рис. 1с).

Отметим, что на поверхности Si (рис. 1 б, с) ориентация нематика наклонная, и какой либо корреляции изменений ориентации с расстоянием от места ввода жк в капилляр не наблюдается.

Подчеркнем факт резкой границы (на дистанции менее 5 микрометров) перехода ориентации нематика от наклонной над Si к гомеотропной над SiC, что демонстрирует возможность использовать такие пленки в жидкокристаллических дифракционных приборах, принимая во внимание, что дифракция света на наноразмерных ступеньках пленок SiC отсутствует.

Формирование гомеотропной ориентации молекул жидкого кристалла на пленке SiC мы связываем с повышенной адсорбцией на её развитой поверхности [3] определённых компонент жидкокристаллического материала, природа которых пока не установлена, и которые эффективно ориентируют молекулы основного вещества.

Исследование порогов светочувствительности структур позволяет предположить, что определенная доля компонент жк материала, которые вызывают формирование гомеотропной ориентации нематика, возможно, являются ионами или имеют дипольный момент. Светочувствительность структуры, возникающая в случае обеднения поверхности Si, определялась по реакции ориентированного нематика при локальной засветке поверхности Si механически модулированным излучением He-Ne (0,6 мкм) лазера. Генерация неравновесных носителей заряда постоянным тестирующим светом минимизировалась или интенсивностью последнего или развязкой спектральных диапазонов фоточувствительности полупроводника и тестирующего излучения, заданного соответствующими светофильтрами [2].

На рис. 2 представлены типичные кривые (на примере двух структур, отмеченных как (1) и (2)) демонстрирующие зависимость порогового напряжения (постоянное смещение  $U_{dc}$  относительно Si подложки) светочувствительности структуры от её времени жизни, при тестировании её переменным напряжением. Измерение порогов проводилось в окрестности ввода жк в капилляр. По результатам экспериментов (включая другие





структуры) можно сделать вывод, что воспроизводимость пороговых напряжений  $U_{dc}$  для разных ячеек практически отсутствует. Однако можно выделить некоторые общие закономерности. Во-первых, пороги светочувствительности в одной и той же структуре в области SiC и в области открытой поверхности Si различаются, причем в большинстве случаев пороги над SiC выше, чем над Si (отмечено стрелками, рис. 2). И второе, после нескольких дней непредсказуемых, часто имеющих разнонаправленное (в сторону увеличения или уменьшения) изменение, порог  $U_{dc}$  в конечном итоге принимает некоторое постоянное значение.

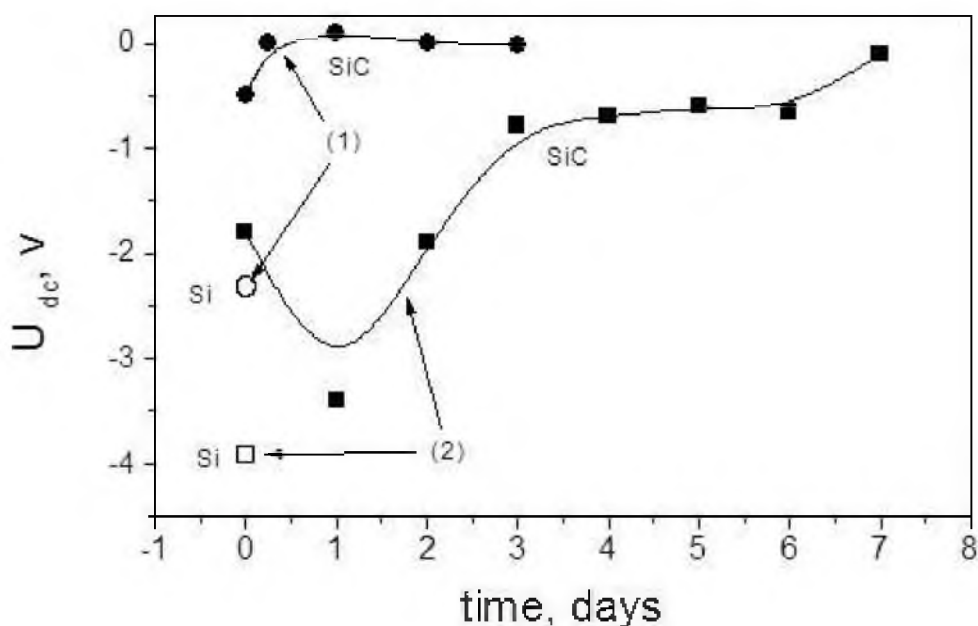


Рис. 2. Зависимость порога светочувствительности структур ((1) и (2)) над пленкой SiC и поверхностью Si соответственно от времени жизни структуры. Тестирующее напряжение 4В, частота  $10^5$  Гц. Толщина жк слоя 5 мкм.

Различие в порогах светочувствительности над SiC и Si, которое в свежеприготовленных структурах может достигать нескольких вольт, мы связываем с эффектом поля в Si, который индуцируется электрическим полем заряда, локализованным на пленке SiC. Именно обеднение поверхности Si играет основную роль в появлении этой разницы в порогах. Это подтверждается в экспериментах, когда обедненный слой в Si практически не формируется в случаях (1) интенсивной генерации электронно-дырочных пар (сильное внешнее освещение) или (2) значительного отрицательного смещения ( $\sim -5V$ ) (относительно кремния). В обоих этих случаях светочувствительность структур не регистрируется, но при этом пороги эффекта Фредерикса, как над Si так и над пленкой SiC одинаковы.



Наличие электрического заряда локализованного на плёнке SiC, с одной стороны, мы можем объяснить встроенным зарядом, который формируется при напылении пленки. С другой стороны, явная временная нестабильность порога светочувствительности, особенно в первые дни жизни свежесобранных структур, позволяет предположить, что в дополнении к встроенному заряду имеет место ионная адсорбция из жидкокристаллического материала или адсорбция молекул с дипольными моментами, в результате чего суммарный электрический заряд на пленке «плавает» некоторый период времени.

Таким образом, на развитой поверхности пленки SiC имеет место адсорбция неустановившейся природы компонент жидкокристаллического материала, которые вызывают формирование гомеотропной ориентации молекул нематика. Динамика светочувствительности структуры Si/SiC/D205/ITO позволяет предположить факт адсорбции ионов на пленке SiC из жк материала.

### Литература

1. Сихарулидзе Д.Г., Чилая Г.С. Преобразователи изображений типа МДП – электрооптический материал / М.: Радио и связь, 1986. – 111 с.
2. Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфёнов А.В. Пространственные модуляторы света / М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
3. Blinov L.M., Chigrinov V.G. Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials / New York: Springer Science and Business Media, 1996. – 464 с.
4. Zakhvalinskii V., Piliuk E., Goncharov I., Simashkevich A., Sherban D., Bruc L., Curmei N., Rusu M. Silicon carbide nanolayers as a solar cell constituent // Phys. Status Solidi A. – 2015. – 1. – С.184-188.

### ION ADSORPTION AND ALIGNMENT OF NEMATIC ON SILICON CARBIDE IN NEMATIC CELL

V. Zakhvalinskii, S.I. Kucheev, N.N. Mezhaikov,  
E.O. Perervenko, E.A. Piliuk

Belgorod State University,  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: [skucheev@yahoo.com](mailto:skucheev@yahoo.com)

**Abstract.** It is proposed some experimental results on peculiarities of nematic (D205) alignment without additional purification on SiC films obtained by magnetron sputtering method on Si substrate and photosensitivity of Si/SiC/nematic/ITO structures through reorientation of nematic layer. Change of initial orientation of nematic on Si surface to the homotrop one on SiC film is explained by adsorption of specific components from liquid crystal material which have aligning properties on developed surface of SiC film. Threshold of photosensitivity over SiC film is more than over Si surface in freshmade structures. It is supposed that the difference between thresholds is due to field effect in Si substrate induced by charge on SiC originated from ion adsorption.

**Key words:** silicon carbide, nematic, alignment, ion, photosensitivity.