

→  $ICl + C_3F_7Cl$ . Однако нам не удалось зафиксировать  $C_3F_7Cl$  с помощью газовой хроматографии даже при существенно более высоких давлениях  $C_3F_7I$  и более длительном контакте  $C_3F_7I$  с хлором в темновых условиях. Дальнейшие исследования должны выявить механизм влияния  $C_3F_7I$  на наработку  $O_2(I_A)$  в СГСК.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B e n a r d D.J., M c D e r m o t t W.E., P s h e l k i n N.R., B o u s e k R.R. // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 34. P. 40-41.
- [2] Загидуллин М.В., Игошин В.И., Куприянов Н.Л. // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. С. 797-802.
- [3] Y o s h i d a S., E n d o M., S a w a n a T., A m a n o S., F u j i i H., F u j i o k a T. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. P. 870-872.
- [4] D e r w e n t R.F., T h r u s h B.A. // Trans. Far. Soc. 1971. V. 67. P. 2036-2043.
- [5] R i c h a r d s o n R.J., V e l l e y J.D., W i s w a l l C.E. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. P. 1066-1071.
- [6] Загидуллин М.В., Игошин В.И., Куприянов Н.Л. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. С. 516-523.

Куйбышевский филиал  
Физического института  
им. П.Н. Лебедева АН СССР

Поступило в Редакцию  
22 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18  
12

26 сентября 1989 г.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОР ЯДЕРНЫХ ФИЛЬТРОВ

Н.А. Т и х о м и р о в а, С.П. Ч у м а к о в а,  
А.В. Г и н з б е р г, В.А. С м и р н о в

Ядерные фильтры (ЯФ) в настоящее время используются в ряде современных технологий и готовых изделий [1]. Отсутствие надежных методов дефектоскопии поверхности и визуализации пор ЯФ для оценки их распределения не позволяет в полной мере судить о качестве используемых ЯФ, что несколько сдерживает их более широкое применение. Потенциально возможная дефектность поверхности ЯФ обусловлена физико-химическими характеристиками материала

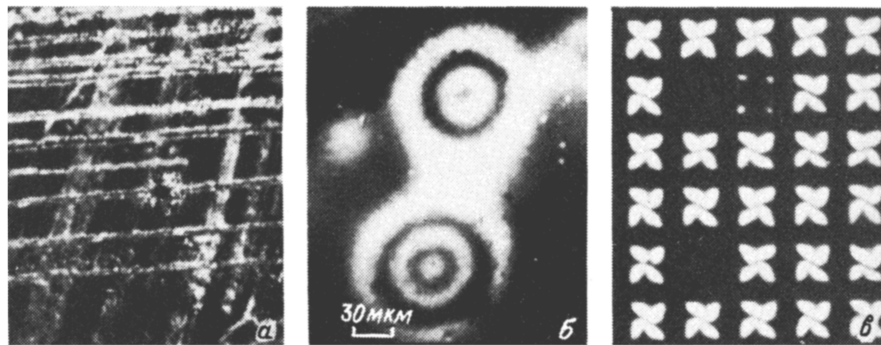


Рис. 1. Оптическая картина декорирования с помощью НЖК (поляроиды скрещены): а - микроцарапины ЯФ ( $\varnothing$  пор  $< 1$  мкм), б - несквозные углубления в пленке ЯФ, в - ориентация НЖК в отверстиях прямоугольной формы ( $\sim 30$  мкм) лавсановой пленки.

фильтра и особенностями технологического процесса их получения, включая этап изготовления исходной пленки. Наибольшую опасность появления дефектов (царапин, полос, вмятин, порезов и др.) представляют обсыпанные титановой пудрой металлические валки, через которые прокатывается и калибруется исходная пленка. Отрицательное воздействие может оказать процесс механической протяжки при ее облучении заряженными ионами и при физико-химической обработке облученной пленки.

Как правило, поверхностные и приповерхностные слои ЯФ сохраняют память о всех стадиях механико-физико-химической технологии их получения, воспринимаемую при визуализации в виде различных дефектов. Следует отметить, что метод электронной микроскопии, используемый для визуализации пор ЯФ [1], применим на малых площадях исследуемых пленок, что ограничивает возможности этого метода для контроля качества ЯФ. Оценку диаметров и распределение пор ЯФ по всей поверхности можно сделать только на основе частных выборок.

В отличие от других методов дефектоскопии, метод неразрушающего контроля с помощью нематических жидких кристаллов (НЖК) [2-3] достаточно прост и может быть использован для визуализации поверхностных дефектов различной природы, как пленок, из которых изготавливают ЯФ на различных этапах технологической цепочки, так и самих фильтров (больших площадей) с размером пор не менее  $0.5$  мкм (порог оптического разрешения). На поверхности пленки вблизи обособленных примесных и иных дефектов, микровключений, ступенек, пор и др. возможны локальные нарушения ориентации НЖК, которые приводят к визуализации дефекта поверхности. Визуализация поверхностных неоднородностей с помощью локальных деформаций в слое НЖК при различной степени сцепления ЖК с исследуемой поверхностью позволяет в ряде случаев установить

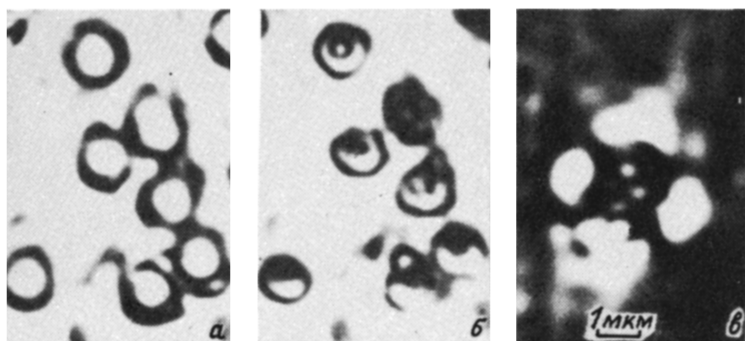


Рис. 2. Визуализация пор ЯФ с помощью НЖК (динамический вариант): а -  $E=0$ ; б -  $\sim 10^3$  В/см,  $f=5$  кГц,  $h=10$  мкм, поляриды параллельны; в -  $\approx 0.4 \cdot 10^3$  В/см, 5 кГц, 50 мкм, поляриды скрещены.

связь между действительными размерами дефектов и их изображениями [3].

В настоящей работе продемонстрирована возможность визуализации с помощью НЖК дефектности ЯФ и пленок, из которых они приготовлены. ЯФ представляли собой левсановую или иную пленку толщиной 5–20 мкм, с диаметром пор 0,015–10 мкм, плотностью пор  $10^5$ – $3 \cdot 10^9$  пор/см<sup>2</sup> и средней пористостью 10–15 %. В качестве визуализирующей среды были выбраны НЖК с положительной диэлектрической анизотропией  $\Delta\epsilon > 0$  (смесь бифенилов) и с отрицательной  $\Delta\epsilon < 0$  (смесь на основе МББА). Исследования проводились при комнатной температуре на поляризационном микроскопе „ПОЛАМ Л-211“.

Тонкий слой НЖК (2–10 мкм) наносился на поверхность ЯФ и участок поверхности пленки изучался в поляризованном свете (статический вариант). В поляризованном свете наблюдается интересная картина протекания НЖК через поры ЯФ. Момент вытекания капли ЖК через пору сопровождается яркой вспышкой, связанной с локальной переориентацией молекул в капле ЖК. По числу и характеру вспышек можно оценить количество сквозных пор, плотность их распределения по площади фильтра, а также судить о смачиваемости и энергии сцепления ЖК с поверхностью ЯФ. На рис. 1 показана характерная оптическая картина декорирования ЯФ с помощью НЖК, видимая в поляризационном микроскопе. Обращает на себя внимание полосы (рис. 1, а), ориентированные в определенном направлении, проходящие, как правило, по всей площади образцов. Плотность их распределения и размер полос менялись от образца к образцу. Пленка, обследованная без НЖК на поляриметре ПКС-250, не обнаруживала таких дефектов. В ряде образцов полосы отсутствовали. По нашим наблюдениям, такие полосы связаны не с деформацией натяжения пленки при протяжке ее через вадки, а являются микроцарапинами, образующимися на пленке на разных этапах ее изго-

товления. Поры ЯФ, располагающиеся на этих царапинах, отличаются от пор на неповрежденной пленке возможно из-за различия в скорости травления в поврежденной и неповрежденной пленке. Такие микроповреждения могут являться источником ухудшения качества изготовленных ЯФ. Кроме полос, на пленке визуализируются дефекты округлой формы размерами ( $\phi \sim$  от десятков до сотен микрон) (рис. 1, б). По оптической картине визуализации этих дефектов можно сделать заключение, что они представляют собой несквозные круговые углубления с пологими краями в пленке, различные по глубине. Количество таких дефектов, выбранных из разных участков пленки, достаточно велико, что также может быть источником искажения ЯФ. В статическом варианте метода НЖК не обнаружено изменения ориентации НЖК в месте пор ЯФ ( $\phi \sim$  нескольких микрон). В лавсановых пленках (сетках) с размером отверстий от 30 мкм и выше видна достаточно совершенная ориентация ЖК (рис. 1, в).

Использование динамического метода НЖК [2, 4] позволяет изучать вид и распределение пор в ЯФ (рис. 2). Ориентация НЖК в порах ( $\phi \sim 1$  мкм) в сэндвич-ячейках толщиной, сравнимой с толщиной лавсановой пленки ( $\sim 10$  мкм), аналогична ориентации на дефектах при наблюдении этим методом вскрытых диэлектрических окон на проводящих покрытиях [2] (рис. 2, б). При использовании этого метода с помощью НЖК ( $\Delta \epsilon > 0$ ) в сэндвич-ячейках  $h \sim 50$  мкм сквозные поры ЯФ, расположенные нормально и под малыми углами отклонения от нормали к поверхности ЯФ визуализируются в виде коноскопических крестов, размерами в 3–5 раз превышающими размер пор (рис. 2, в). Большая часть пор расположена под косыми углами к поверхности ЯФ, что создает неоднородные условия распределения электрических полей в порах ЯФ. Известно, что при малых размерах пор в пористых стеклах поверхностная энергия ЖК внутри них становится соизмеримой с объемной, что приводит к изменению физических характеристик ЖК в порах [5]. Такой эффект не наблюдается для ЯФ с диаметром пор  $\sim 1$  мкм, что, по-видимому, связано с малой энергией сцепления НЖК с лавсановой пленкой.

Использование НЖК для дефектоскопии поверхности ЯФ и визуализации пор является простым и надежным методом для неразрушающего контроля их качества.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ф л е р о в Г.Н. // Вестник АН СССР. 1984. № 4. С. 35–48.
- [2] Н е в с к а я Г.Е., К о р к и ш к о Т.В., П а р ф е н о в А.В., Ч и г р и н о в В.Г. Визуализация дефектов диэлектрических покрытий с помощью жидких кристаллов. Препринт ФИАН СССР им. П.И. Лебедева, М. 1987, № 292, с. 1–26.
- [3] А э р о Э.Л., Б а х ш и е в Н.Г., Т о м и л и н М.Г. // Труды ГОИ им. С.И. Вавилова, Л. 1986. Т. 60. В. 194. С. 91–121.

- [4] Чумакова С.П., Тихомирова Н.А., Гинзберг А.В., Лисецкая Е.К., Комарь В.К. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 22. С. 1379-1384.
- [5] Алиев Ф.М. // Кристаллография. 1988. Т. 33. В. 4. С. 969-975.

Институт кристаллографии  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
8 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18  
Об.3

26 сентября 1989 г.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СВЕТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ  
 $GaInAsSb$  ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА  
1.8-2.4 МКМ (T=300 К)

А. Андаспаева, А.Н. Баранов,  
А.А. Гусейнов, А.Н. Именков,  
Н.М. Колчанова, Е.А. Сидоренкова,  
Ю.П. Яковлев

1. Спектральный диапазон длин волн 1.8-2.4 мкм перспективен для волоконно-оптических линий связи третьего поколения, а также для целей влагометрии и газового анализа. Среди соединений  $A^{3V}B^{5}$  наибольший интерес для создания источников света в этом диапазоне представляют твердые растворы  $GaInAsSb$ , изопериодные к подложке  $GaSb$ . Эти твердые растворы были успешно использованы как для создания лазеров [1-3], так и  $pin$  [4] и лавинных [5] фотодиодов, работающих при комнатной температуре.

В работе [6] нами было доложено о создании высокоэффективных светодиодов на основе  $GaInAsSb/GaAlSbAs$ , излучающих на длине волны  $\lambda=2.2$  мкм с внешним квантовым выходом  $\eta=4\%$  и быстродействием  $\sim 10^{-8}$  с (T=300).

В данной работе впервые рассматриваются электролюминесцентные свойства высокоэффективных светодиодов в широком спектральном диапазоне 1.8-2.4 мкм (300 К).

2. Исследованные в настоящей работе светодиоды имели полупроводниковую структуру (рис. 1, а, б), состоящую из изопериодного узкозонного слоя  $p-GaInAsSb$ , расположенного между подложкой  $p-GaSb$  [100], легированного теллуром до концентрации носителей заряда  $(5-9) \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup> и широкозонным эмиттером  $p-GaAlSbAs$  ( $E_g=1.27$  эВ), легированным германием до концентрации акцепторов  $5 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>.

Состав твердого раствора  $Ga_{1-x}In_xAs_ySb_{1-y}$  в узкозонном активном слое структуры варьировался в интервале значений  $(0.05 \leq x \leq 0.24; 0.04 \leq y \leq 0.22)$ , а его толщина - в интервале 0.4-6 мкм. При этом величина рассогласования параметра решетки