

# ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ИЗОЛЯТОР

© 2005 А.А. Савченко<sup>1</sup>, А.К. Чернышов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет  
<sup>2</sup> Самарский филиал Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

Продемонстрировано использование планарной жидкокристаллической ячейки в качестве спектрально перестраиваемой четверть- или полуволновой пластинки в диапазоне 600–900 нм. Поляризационный оптический изолятор, построенный на основе данной ячейки, обеспечивала прямое пропускание на уровне  $-1,7$  dB и обратное пропускание на уровне  $-30$  dB. Исследованный диапазон работы ячейки определялся доступными лазерными источниками. Реальный рабочий спектральный диапазон, ограниченный полосой прозрачности жидкого кристалла, может перекрывать интервал от 450 до 1500 нм.

## Введение

Полупроводниковые диодные лазеры (ДЛ) являются удобным источником перестраиваемого по спектру оптического излучения для приложений, в которых необходима высокая когерентность и не требуется большая оптическая мощность. Известно, что режим работы диодных лазеров может меняться под действием даже незначительных обратных отражений от элементов оптической схемы, что является серьезной проблемой для волоконно-оптической связи, интерферометрии и спектроскопии. Высокая чувствительность ДЛ к паразитной оптической обратной связи (ОС) обусловлена высоким коэффициентом усиления активной среды и низкой добротностью оптического резонатора, образованного гранями кристалла [1].

Хорошим решением проблемы подавления паразитных отражений в области ближнего ИК являются оптические изоляторы на основе эффекта Фарадея [2]. Однако, для сине-зеленого диапазона спектра, в котором уже доступны полупроводниковые лазеры [3], еще не найдены подходящие прозрачные материалы с большой постоянной Верде для фарадеевских изоляторов. В качестве альтернативы можно рассматривать оптическую развязку на основе четверть волновой (QW) пластиинки [4]. Использование подобных изоляторов особенно оправдано, когда не требуется высокая степень изоляции и неизмен-

ность состояния поляризации. Кроме того, для спектральных систем, предусматривающих последовательную работу на различных длинах волн, определенный интерес представляют ахроматические, либо спектрально перестраиваемые фазовые QW пластиинки.

В данной работе исследуются характеристики поляризационного изолятора, в котором в качестве спектрально перестраиваемой четверть волновой пластиинки используется жидкокристаллическая (ЖК) ячейка.

## Жидокристаллическая ячейка

Схема ЖК ячейки показана на рис. 1. Молекулы жидкого кристалла располагаются между двумя стеклянными подложками с нанесенными на них прозрачными электропроводящими покрытиями и слоями ориентанта. Толщина слоя ЖК, определяемая тefлоновыми вкладышами, составляла в нашем случае 5–12 мкм. В экспериментах использовалась ячейка с жидким кристаллом: MDA-00-3969 (MERCK) с двулучепреломлением на длине волны 580 нм  $\Delta_n = 0,22$ . Начальная планарная ориентация молекул жидкого кристалла задается ориентантом, в качестве которого использовался заранее натертый мехом в определенном направлении слой полиимида. При подаче напряжения на электроды ячейки, молекулы ЖК начинают выстраиваться вдоль силовых линий электрического поля. При этом ориентация молекул, наблюдаемая

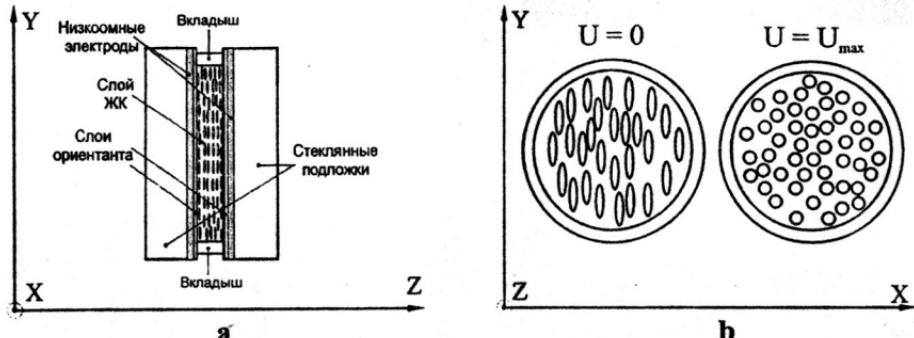


Рис. 1. Жидкокристаллическая ячейка:

а - продольный разрез; б - вид со стороны стеклянной подложки; овалы (слева) и кружки (справа) изображают ориентацию молекул ЖК под действием только ориентанта и при подаче максимально допустимого напряжения на управляющие низкоомные электроды, соответственно

через стеклянную подложку, изменяется от изображенной на рис. 1(б, слева) до картины изображенной на рис. 1(б, справа). Из рисунка 1(б) следует, что в отсутствие напряжения на электродах ячейки показатели преломления ЖК слоя вдоль осей Y и X максимально различаются. После подачи на электроды напряжения около 10 В величина двулучепреломления жидкого кристалла стремится к нулю. Таким образом, ЖК ячейка представляет собой фазовую пластинку с электрически управляемой (посредством ориентационного S-эффекта) величиной двулучепреломления [5].

Работа ЖК ячейки в качестве перестраиваемой фазовой пластиинки была протестирована с помощью стандартной оптической схемы. Она состояла из оптического источника излучающего интересующую  $\lambda$ ; двух скрещенных поляризаторов и измерителя оптической мощности. Между скрещенными поляризаторами помещалась исследуемая фазовая пластиинка. На рис. 2(а) представлены результаты, демонстрирующие работу ЖК ячейки в режиме полуволновой (HW) фазовой пластиинки. Плоскость линейно поляризи-

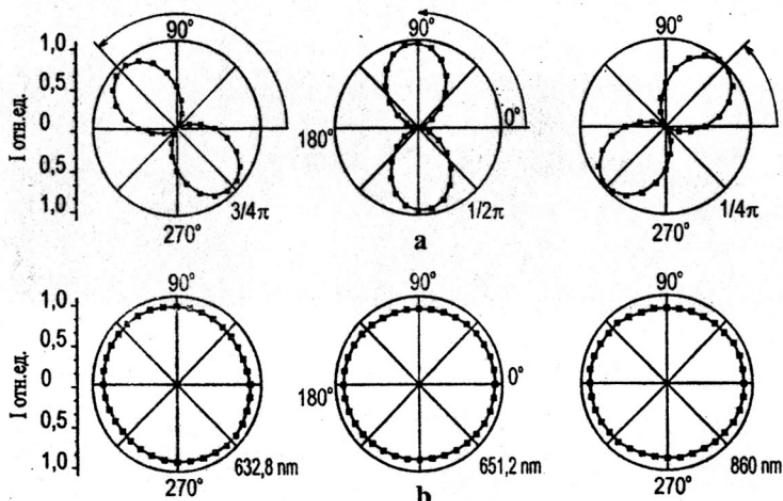


Рис. 2. Фазовые пластиинки на основе ЖК ячейки:

а – режим  $\lambda/2$  пластиинки; поворот плоскости поляризации лазерного излучения (860 нм); величина смещения на ЖК ячейке  $V_{ac} = 3,26$  В.;

б – режим  $\lambda/4$  пластиинки; преобразование линейной поляризации в циркулярную; цифрами под графиками указаны длины волн, на которых производились измерения; величина  $V_{ac}$  оптимизировалась для каждой  $\lambda$

Таблица. Параметры поляризационного изолятора на основе ЖК ячейки

632,8 nm				651,2 nm				860 nm			
FL <sub>tot</sub>	FL <sub>wp</sub>	BL	α	FL <sub>tot</sub>	FL <sub>wp</sub>	BL	α	FL <sub>tot</sub>	FL <sub>wp</sub>	BL	α
-1,3	-0,7	-29,5	1,08	-1,4	-0,7	-31,4	1,06	-1,7	-0,9	-31,2	1,05

зованного лазерного излучения ( $\lambda=860$  нм), ориентированного в направлении ( $0^\circ$ – $180^\circ$ ), поворачивалась на определенный угол после прохождения через ячейку. Угол поворота плоскости поляризации излучения предварительно задавался углом поворота ЖК ячейки. Аналогичные результаты были получены на длинах волн 651,2 и 632,8 нм. На рис. 2(b) показаны результаты, демонстрирующие работу ЖК ячейки в режиме четверть волновой (QW) пластинки. Качество преобразования линейной поляризации в циркулярную оценивалось по коэффициенту циркулярности  $aa$ .

ности  $aa$ , определяемому как отношение вертикального ( $90^\circ$ – $270^\circ$ ) и горизонтального ( $0^\circ$ – $180^\circ$ ) размеров поляризационной диаграммы на рис. 2(b). Результаты измерений коэффициента циркулярности  $aa$  приведены в таблице.

### Поляризационный оптический изолятор

Устройство и принцип работы поляризационной оптической развязки поясняются на рис. 3. Изолятор состоит из входного поляризатора Pol, который пропускает свет, по-

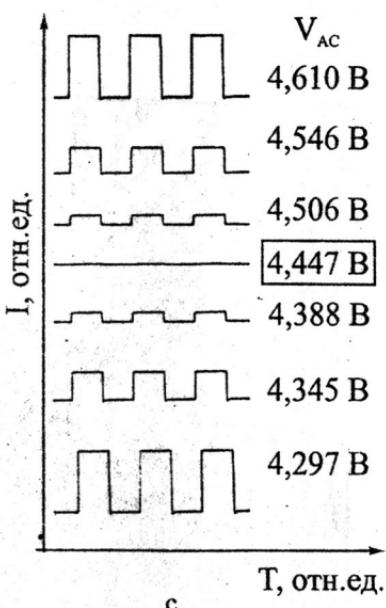
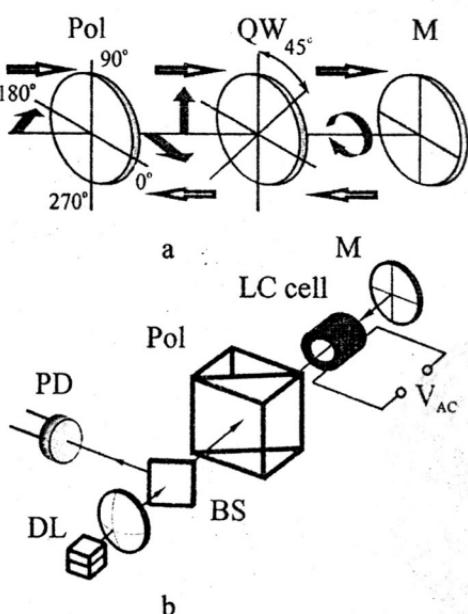


Рис. 3. Поляризационный изолятор:

- a – устройство и принцип действия: Pol – поляризатор; QW – пластина  $\lambda/4$ ; сплошные стрелки обозначают поляризацию, а контурные стрелки показывают направления распространения пучков;  
 b – схема экспериментальной установки: DL – диодный лазер; BS – делитель пучка; PD – фотодиод; Pol – поляризационный делитель пучка; LC – жидкокристаллическая ячейка; M – плоское зеркало;  
 c – Амплитуда импульсного сигнала, регистрируемая фотодиодом PD при различных напряжениях  $V_{ac}$  (справа) на ЖК ячейке

ляризованный в вертикальном направлении ( $90^\circ - 270^\circ$ ) и четверть волновой фазовой пластиинки QW. Быстрая ось пластиинки повернута на угол  $45^\circ$  по отношению к направлению пропускания Pol. После QW пластиинки расположено зеркало M, которое моделирует поверхность, отражающую излучение в направлении обратно к источнику.

Вначале входное оптическое излучение с поляризацией близкой к вертикальной проходит через поляризатор Pol. Затем свет со строго вертикальной поляризацией конвертируется волновой пластиинкой QW в циркулярно поляризованное излучение. После этого выходной циркулярно поляризованный пучок отражается от зеркала M и вновь проходит через QW пластиинку, преобразуясь при этом в линейно поляризованную волну с поляризацией расположенной горизонтально. Поляризатор Pol блокирует оптическое излучение, поляризованное в направлении  $0^\circ - 180^\circ$ , и тем самым препятствует возникновению паразитной ОС.

Для определения характеристик изолятора на основе ЖК ячейки была собрана экспериментальная установка, которая показана на рис. 3б. Коллимированный линейно поляризованный пучок от полупроводникового диодного лазера DL направляется на элементы, образующие оптический изолятор. В качестве входного поляризатора был использован поляризационный делительный кубик Pol, а четверть волновой пластиинкой служила ЖК ячейка LC, управляемая переменным (1 кГц) синусоидальным напряжением  $V_{ac}$ , поступающим от генератора. Выходное циркулярно поляризованное излучение отражалось плоским алюминиевым зеркалом M и направлялось обратно к лазеру. Между коллимирующей линзой и поляризационным делителем Pol располагалась частично отражающая делительная пластиинка BS, которая направляла на измерительный фотодиод PD часть пучка, распространяющегося от зеркала M к диодному лазеру. Для уменьшения влияния комнатного освещения на показания фотодиода PD выходная оптическая мощность DL импульсно модулировалась. Поэтому амплитуда импульсной составляющей сигнала, регистрируемого PD и представленно-

го на рис. 3с, пропорциональна только мощности оптического излучения, возвращаемого к диодному лазеру от внешнего зеркала M.

На рис. 3с показано как изменяется импульсный сигнал PD от величины напряжения  $V_{ac}$  прикладываемого к электродам ЖК ячейки. Видно, что при напряжении  $V_{ac} = 4,447$  В амплитуда импульсов спадает практически до нуля. Для других значений  $V_{ac}$  амплитуда импульсной составляющей сигнала PD и, следовательно, величина отраженного обратно к DL излучения возрастают. Эти графики наглядно демонстрируют изолирующие свойства поляризационной связки на основе ЖК ячейки. Для количественной оценки параметров жидкокристаллического изолятора измерялись полные прямые ( $FL_{tot}$ ) и обратные (BL) потери, а также потери в fazовой ячейке  $FL_{wp}$ . Полные прямые потери определялись как отношение оптической мощности  $P_3$  после ЖК ячейки к мощности  $P_1$ , падающей на поляризационный кубик Pol (рис. 3б). Полные обратные потери, вносимые оптическим изолятором, могут быть выражены через отношение оптической мощности  $P_6$ , регистрируемой фотодиодом PD, к мощности  $P_2$  с учетом коэффициентов отражения зеркала M ( $R_1$ ) и делительной пластиинки BS ( $R_2$ ). Соответствующие выражения для  $FL_{tot}$  и BL имеют вид

$$FL_{tot} = \frac{P_3}{P_1}, \quad BL = \frac{1}{R_1 R_2} \cdot \frac{P_6}{P_2}.$$

Параметр  $FL_{wp}$  оценивался как отношение оптической мощности  $P_3$  к мощности  $P_2$ , измеренной после поляризатора. Результаты измерений приведены в таблице.

### Заключение

В работе экспериментально продемонстрировано, что жидкокристаллическая ячейка может успешно использоваться как спектрально перестраиваемая четверть- или полуволновая пластиинка в диапазоне 600-900 нм. Поляризационная связка, построенная на основе данной ЖК ячейки, обеспечивала прямое пропускание на уровне  $-1,7$  dB и обратное пропускание на уровне  $-30$  dB в исследованном спектральном диапазоне. Большая величина прямых потерь жидкокристалли-

ческих изоляторов связана с управлением ЖК при помощи электрического поля и необходимостью напыления электродов, пропускание которых составляет около 90%. Можно увеличить прямое пропускание ячейки, если отказаться от электродов и применить управление молекулами ЖК с помощью магнитного поля созданного электромагнитами. Необходимо также отметить, что спектральный диапазон работы изолятора, ограниченный полосой прозрачности ЖК, может перекрывать интервал от 450 до 1500 нм. Упомянутый выше диапазон 600-900 нм определялся только доступными лазерными источниками.

Авторы благодарят, М.А. Рахматулина, В.В. Якутина за помощь в изготовлении ЖК ячеек, С.П. Котову и А.М. Майорову за интересную дискуссию и обсуждение результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tkach R.W., Chraplyvy A.R. Regimes of feedback effects in 1,5-mmm distributed feedback lasers // J. Lightwave Tech. 1986. V.LT4.
2. Wynands R., Dedrich F. et al. A compact tunable 60-dB Farady optical isolator for the near infrared // Rev. Sci. Instrum. 1992. V.63.
3. Nakamura S., Fasol G. The Blue Laser Diodes. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
4. Kuwahara H. Optical isolator for semiconductor laser // Appl. Opt. 1980. V.19.
5. Блинов Л.М. Электро- и Магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978.

## LIQUID CRYSTAL OPTICAL ISOLATOR

© 2005 A.A. Savchenko, A.K. Chernyshov

Samara Branch of Physics Institute named for P.N. Lebedev of Russian Academy of Sciences

The application of a planar liquid crystal cell as a spectral tunable quarter- or half-wave plate in 600-900 nm range was demonstrated in the work. The polarizing isolator constructed on the basis of the given cell, provided the direct transmission at a level -1,7 dB and the opposite suppression at a level -30 dB. The investigated spectral range was determined by accessible laser sources. The real working spectral range of the cell limited by a liquid crystal transparency, can overlap an interval from 450 to 1500 nm.