

06;15;07

Бесполяроидный затвор инфракрасного излучения на основе эффекта рассеяния в нематическом жидком кристалле

© Е.П. Пожидаев, Д.А. Мудрецов, В.М. Шошин, Ю.П. Бобылев,
А.А. Жуков, В.Г. Веселаго

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
ОАО „Российские космические системы“, Москва
Научно-исследовательский институт „Платан“ с заводом при НИИ,
Фрязино
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
E-mail: sageqrtet@gmail.com

Поступило в Редакцию 13 февраля 2013 г.

Представлены варианты конструкций бесполяроидного затвора инфракрасного излучения, действие которых основано на эффекте электроуправляемого рассеяния света в жидком кристалле, и экспериментальные результаты измерения пропускания излучения в диапазоне длин волн 2.5–25.0 μm .

Разработка быстродействующих затворов инфракрасного (ИК) излучения является актуальной задачей в связи с растущими требованиями к качеству модуляции ИК-излучения в устройствах детектирования и связи, а также повышению максимального пропускания (а значит, и соотношению сигнал/шум) и быстродействия. Механические и микромеханические затворы ИК-излучения обладают максимальным пропусканием, однако недостаточным быстродействием. Перспективной возможностью повышения быстродействия является применение электрооптических затворов на основе жидких кристаллов, при этом увеличение максимального пропускания до величин более 50% и снижение потерь на поглощение возможно за счет уменьшения количества функциональных слоев в конструкции затвора [1–3].

Целью работы является создание бесполяроидного затвора инфракрасного излучения на основе эффекта рассеяния в нематическом кристалле с высокими пропусканием (в выключенном состоянии) и контрастным отношением в диапазоне длин волн 2.5–25.0 μm .

Принцип действия затвора основан на создании пространственной неоднородности показателя преломления нематического жидкого кристалла в процессе раскручивания под действием управляющего электрического напряжения необходимой амплитуды. Подаваемое на токопроводящие подложки через контактные площадки знакопеременное напряжение вызывает в жидком кристалле образование доменов и эффект рассеяния света [4–6]. Поскольку модуляция света происходит в жидком кристалле благодаря эффекту рассеяния, то нет необходимости в применении поляризаторов и анализаторов, что приводит к увеличению пропускания излучения по сравнению с аналогами.

Объектами исследования служили образцы бесполяроидных затворов на основе нематического жидкого кристалла, выполненные на двух типах подложек. Конструкция затворов аналогична конструкции электрооптической жидкокристаллической ячейки, однако в качестве подложек применены оптически прозрачные в ИК-диапазоне длин волн материалы. В качестве подложек при реализации первого варианта конструкции затвора ИК-излучения использовали кремниевые монокристаллические пластины, легированные бором. В качестве подложек при реализации второго варианта конструкции использовали легированные до состояния вырожденного полупроводника германиевые пластины с просветляющим покрытием (диапазон 8–12 μm).

Все образцы бесполяроидных затворов изготавливали следующим образом. На каждой подложке на стороне, обращенной к нематическому жидкому кристаллу, методом центрифугирования раствора полиамидокислоты в диметилформамиде с последующей термоимидизацией формировали полиимидный ориентант толщиной 8–40 nm. В качестве полиимида использовали неплавкий термостойкий полиимид на основе пиромеллитового диангирида и оксидианилина [7]. После одностороннего механического натирания ориентанта подложки склеивали между собой (слой клея формировали по периметру подложки) с зазором 30 μm (зазор задавался шарообразными спейсерами) и после заполнения жидким кристаллом герметизировали. В качестве жидкого кристалла применяли нематический жидкий кристалл с эффектом рассеяния марки НЖК-440-ДРС (разработка Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева РАН). Для обеспечения подачи разности потенциалов в варианте конструкции на кремнии на подложках методами тонкопленочной технологии предварительно формировали металлические кон-

тактные площадки на основе алюминия с последующим вжиганием при температуре 350°C, что обеспечивало получение омического контакта.

Толщину полиимидного ориентанта оценивали методом контактной профилометрии с помощью нанотвердомера „Наноскан 3D“. Спектры пропускания образцов затворов в диапазоне длин волн 2.5–25.0 μm при варьируемой амплитуде подаваемого на подложки знакопеременного напряжения и без подаваемого напряжения измеряли на инфракрасном фурье-спектрофотометре IRAffinity-1 фирмы Shimadzu. Знакопеременное напряжение с варьируемой амплитудой до 80 V подавали с помощью автотрансформатора, понижавшего напряжение сети с частотой 50 Hz. Амплитуду и частоту знакопеременного напряжения измеряли осциллографом Agilent DSO6012A. Расстояние от плоскости затвора до фотоприемника при исследованиях характеристик образцов с помощью спектрофотометра во всех экспериментах было неизменным и составляло около 25 см.

В результате исследований получены спектры пропускания затворов ИК-излучения при различной амплитуде подаваемого на подложки знакопеременного напряжения.

На рис. 1, *a* показаны спектры пропускания затвора ИК-излучения в варианте конструкции на кремниевых подложках при подаче знакопеременного напряжения 80 V и без напряжения. Пропускание не превышает 30% (при 0 V) в диапазоне 2.5–5.0 μm . Видно падение пропускания при подаче напряжения 80 V. На рис. 1, *b* представлено контрастное отношение затвора ИК-излучения на кремниевых подложках в диапазоне длин волн 2.5–25.0 μm при подаваемом напряжении 80 V. Показано, что контрастное отношение зависит от длины волны и уменьшается с ее ростом. Полученная зависимость может быть связан с тем, что характерные размеры светорассеивающих доменов в ЖК остаются в эксперименте неизменными, а длина волны излучения становится больше. Так как контрастное отношение резко падает на длине волны до 6 μm , то можно ожидать, что размер светорассеивающих доменов имеет такой же размер. Поскольку пропускание одной кремниевой подложки составляет приблизительно 55–60%, а пары подложек (в составе затвора) обеспечивают всего 30–35% пропускания, для диапазона длин волн 2.5–5.0 μm получено максимально возможное пропускание затвора в отсутствие разности потенциалов.

Для увеличения пропускания затвора предложено применение в конструкции германиевых подложек с просветляющим покрытием,

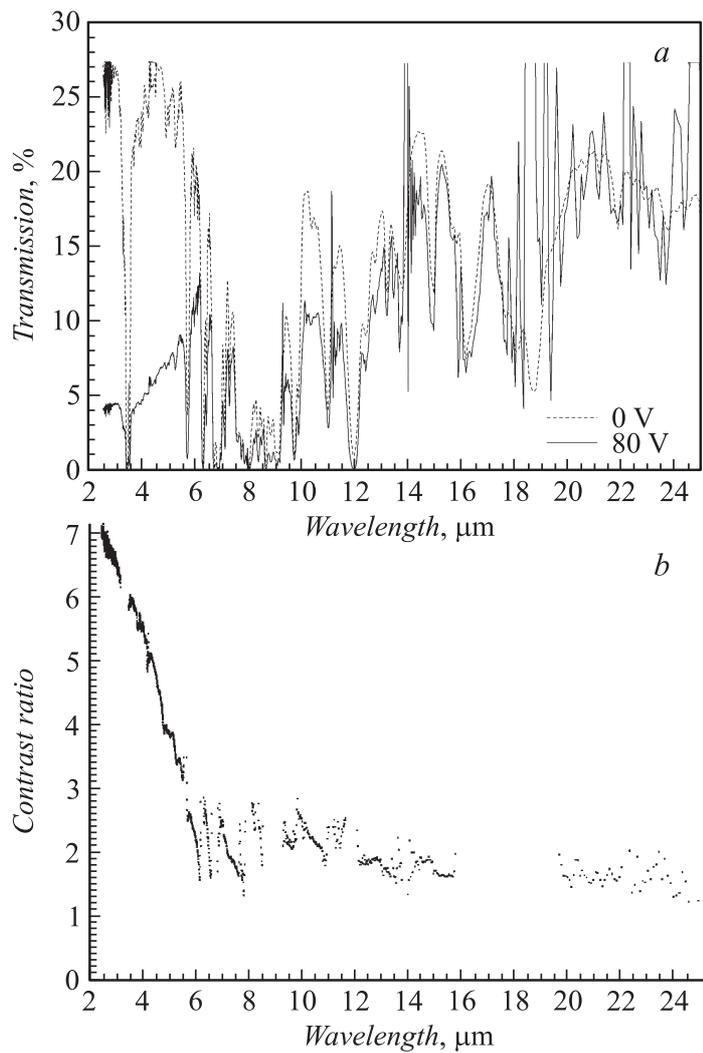


Рис. 1. *a* — инфракрасный спектр пропускания затвора ИК-излучения на кремниевых подложках при варьируемой амплитуде напряжения; *b* — контрастное отношение затвора ИК-излучения на кремниевых подложках в диапазоне длин волн 2.5–25.0 μm при подаваемом напряжении 80 V.

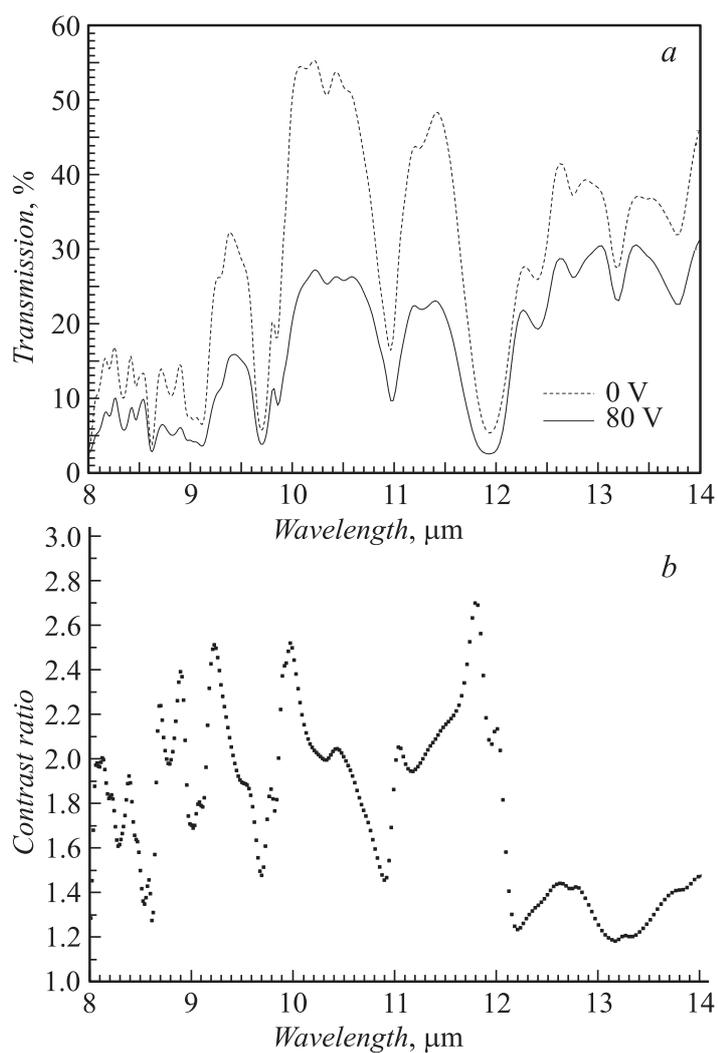


Рис. 2. *a* — инфракрасный спектр пропускания затвора ИК-излучения на германиевых подложках при варьируемой амплитуде напряжения; *b* — контрастное отношение затвора ИК-излучения на германиевых подложках в диапазоне длин волн 8.0–14.0 μm при подаваемом напряжении 80 V.

пропускание которых в диапазоне длин волн $8.0\text{--}14.0\ \mu\text{m}$ составляет $90\text{--}99\%$, что должно обеспечить $80\text{--}99\%$ пропускания для пары таких подложек. На рис. 2, *a* показаны спектры пропускания затвора ИК-излучения в варианте конструкции на германиевых подложках при подаче знакопеременного напряжения $80\ \text{V}$ и без напряжения. Максимальное пропускание достигает 55% (при $0\ \text{V}$) в диапазоне длин волн $10.00\text{--}10.6\ \mu\text{m}$. На рис. 2, *b* представлено контрастное отношение затвора ИК-излучения на германиевых подложках в диапазоне длин волн $8.0\text{--}14.0\ \mu\text{m}$ при подаваемом напряжении $80\ \text{V}$. Контрастное отношение в целом совпадает с контрастным отношением для варианта на кремниевых подложках.

Таким образом, методами ИК-спектроскопии в диапазоне длин волн $2.5\text{--}25.0\ \mu\text{m}$ исследовано пропускание ИК-излучения бесполяридными затворами на основе эффекта рассеяния, изготовленными на кремниевых и германиевых подложках с различной величиной капиллярного зазора, заполненного нематическим жидким кристаллом, при варьруемой амплитуде подаваемого на подложки знакопеременного напряжения и без подаваемого напряжения. Максимальное пропускание в выключенном состоянии получено с вариантом бесполяридного затвора ИК-излучения на германиевых подложках с зазором $30\ \mu\text{m}$ в диапазоне длин волн $10.0\text{--}10.6\ \mu\text{m}$ и составляет приблизительно 55% , а контрастное отношение составляет $2.7:1$. Максимальное контрастное отношение получено с вариантом бесполяридного затвора ИК-излучения на кремниевых подложках на длине волны $2.5\ \mu\text{m}$ и составляет $6.5:1$, а пропускание составляет приблизительно 29% при $0\ \text{V}$ и 5% при $80\ \text{V}$. Показано, что контрастное отношение зависит от длины волны излучения и уменьшается с ее ростом.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 10-02-01336-а.

Список литературы

- [1] Lee J.-H., Wu Y.-H., Wu S.-T., Kim D.-W., Yu C.-J., Lee S.-D. // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2006. V. 453. P. 343–354.
- [2] Chen Y., Xianyu H., Sun J., Kula P., Dabrowski R., Tripathi S., Tweig R.J., Wu S.-T. // *Optics Express*. 2011. V. 19. N 11. P. 10 843–10 848.
- [3] Sun J., Chen Y., Wu S.-T. // *Optics Express*. 2012. V. 20. N 18. P. 20 124–20 129.

- [4] *Heilmeyer G.H., Zannoni L.A., Barton L.A.* // Proc. IEEE. 1968. V. 56. P. 1162–1171.
- [5] *Молькин В.Е.* Диэлектрические и электрооптические свойства сегнетоэлектрических жидких кристаллов с субмикронным шагом спиральной структуры: Дис. . . . канд. физ.-мат. наук / Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. М., 2011.
- [6] *Pozhidaev E.P., Gurumurthy H., Chigrinov V.G., Murauski A.A., Kwok H.S., Vashchenko V.V., Krivoshey A.I.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2009. V. 510. P. 1146–1154.
- [7] *Кузьменко Е.С., Жуков А.А., Пожидаев Е.П., Компанец И.Н.* // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4. В. 11–12. С. 112–116.