

## ВОЛНОВОДНОЕ ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В СТЕКЛЕ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ КРИСТАЛЛИТАМИ

М.Г. Галечян, А.Е. Екимов, В.А. Караванский, Н.М. Лындин,  
В.А. Сычугов, А.В. Тищенко

*Показана возможность создания оптических волноводов в стекле, легированном полупроводниковыми кристаллитами CdS. Потери в волноводах не превышают 1 - 1,5 дБ/см. Установлено, что электропоглощение света сохраняется после проведения процесса диффузии ионов K<sup>+</sup> в стекло. Продемонстрирована возможность достижения большой (до 90%) глубины модуляции света в волноводе.*

Переход к системам пониженной мерности и квантоворазмерным структурам в оптоэлектронике стимулируется исключительными их свойствами и возможностями значительного улучшения параметров элементной базы оптоэлектронных устройств и приборов. Имеется в виду не только дальнейшее совершенствование характеристик полупроводниковых излучателей, фотодетекторов и других электронных приборов /1 - 3/, но также использование квантово-ограниченного эффекта Штарка для создания нового класса оптоэлектронных логических элементов с оптическим и электронным управлением и считыванием /4/. Кроме того, хорошие нелинейно-оптические характеристики таких материалов /3, 5/ при использовании волноводной геометрии распространения света /4, 6, 7/ позволяют существенно приблизить реализацию оптических компьютеров.

В связи с этим большое внимание уделяется так называемым "квантоворазмерным" стеклам, легированным полупроводниковыми кристаллитами, представляющими собой квазинульмерные квантовые объекты /8-14/. Интенсивно исследуются нелинейно-оптические и динамические свойства таких стекол /8, 9, 12/, процессы формирования в них волноводов /13/ и волноводных элементов на их основе /13-15/. В работе /15/ показано, что для разработки быстродействующих нелинейно-оптических элементов эти стекла являются наиболее перспективными. Наблюдение в них квантово-ограниченного эффекта Штарка /16/ расширяет функциональные возможности их применения. Кроме того, при переходе к волноводной геометрии распространения света использование этого эффекта позволяет значительно улучшить параметры устройств.

Целью данной работы было создание оптических волноводов с малыми потерями на основе квантоворазмерных легированных CdS стекол и исследование электроабсорбционной модуляции света в волноводном режиме.

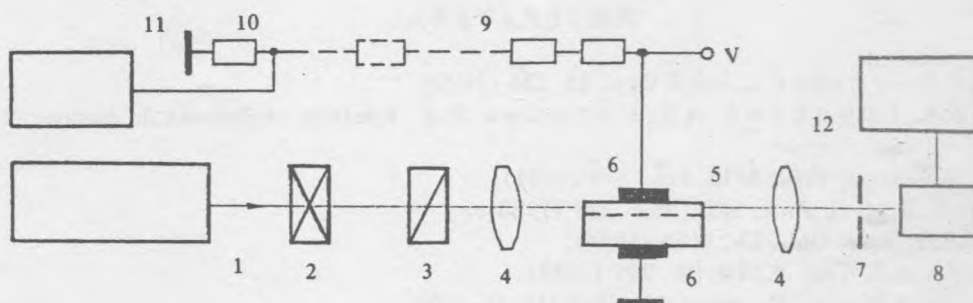


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - перестраиваемый аргон-криптоновый лазер, 2 - четвертьволновая пластинка, 3 - поляризатор, 4 - микрообъективы, 5 - подложка с волноводом, 6 - электроды, 7 - диафрагма, 8 - ФЭУ, 9, 10 - резисторы делителя напряжений, 11, 12 - вольтметры.

В подложках из стекла, легированного CdS и изготовленного по технологии, описанной в работах /8, 10, 16/, формировались ионно-обменные волноводы в расплаве  $KNO_3$ . В отличие от термодиффузии /14/, нами использовался электростимулированный процесс /17/, что позволило получить значительно лучшие маломодовые (2–3 моды) волноводы за существенно меньшее время (5 минут вместо 30 часов /14/) и с потерями  $\sim 0,5 - 1,5$  дБ/см на длине волны  $\lambda = 0,6328$  мкм (вместо 5 – 10 дБ/см /13, 14/). Основной вклад в потери вносят неоднородности состава стекла и свили, обусловленные, по-видимому, несовершенством технологии отливки его в малом объеме. Это проявляется также в разбросе ширины запрещенной зоны, что обнаруживалось по спектрам пропускания на различных участках образца (положение края полосы поглощения менялось в пределах от 0,472 до 0,49 мкм).

Измерения электропоглощения проводились по схеме, представленной на рис. 1. Образец с волноводом и полированными торцами сошлифовывался до толщины  $h = 540$  мкм, затем на волновод и противоположную поверхность наносились металлические электроды. Длина образца и электродов равнялись соответственно 10,8 и 6,4 мм. Измерения проводились при комнатной температуре. Источник постоянного напряжения допускал изменение полярности. На рис. 2а представлены наиболее характерные зависимости пропускания образца от приложенного напряжения для случая трех длин волн излучения, имеющего ТЕ-поляризацию:  $\lambda = 0,496$  мкм (кривая 1),  $\lambda = 0,501$  мкм (2) и  $\lambda = 0,514$  мкм (3), причем положительное напряжение подавалось со стороны подложки. Из-за указанной выше неоднородности образца при изменении области ввода излучения в волновод крутизна могла слегка меняться. Однако существенных различий между кривыми, полученными при различной поляризации света на входе волновода и полярности напряжения на электродах, не наблюдалось.

Максимальное ослабление  $\eta = (I_0 - I)/I_0$ , полученное в эксперименте, составило 90% при напряжении 3,6 кВ; учитывая толщину образца, получаем, что напряженность поля достигала 6,6 В/мкм. Этот результат свидетельствует о перспективности применения явления электропоглощения при разработке волноводных модуляторов света в стекле. Характеристики такого модулятора можно улучшить, если использовать однородное стекло, полосковые волноводы и планарную геометрию электродов. Переход к планарной геометрии электродов нам представляется наиболее важным моментом, поскольку стекло, легированное CdS, при комнатной температуре, как выяснилось в ходе эксперимента, обладает заметной проводимостью, особенно при высоких напряжениях.

Физическим механизмом, обеспечивающим амплитудную модуляцию излучения, прошедшего через волновод, является изменение формы (например, сдвиг края) полосы поглощения света вследствие приложенного к образцу напряжения.

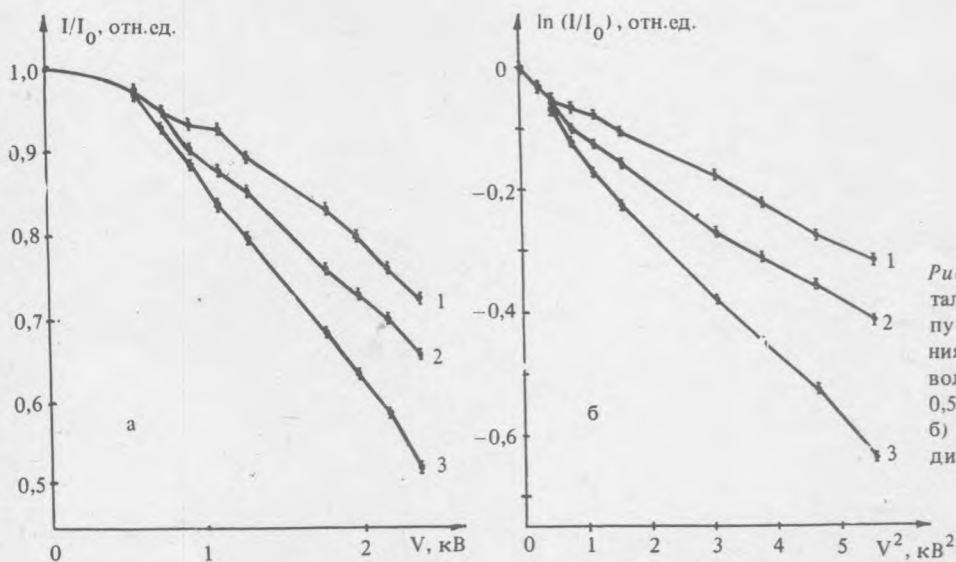


Рис. 2. а) Экспериментальные зависимости пропускания  $I/I_0$  от напряжения на электродах для длин волн  $\lambda = 0,514$  мкм (1),  $0,501$  мкм (2) и  $0,496$  мкм (3); б) те же зависимости в координатах  $\ln(I/I_0)$  и  $U^2$ .

Как видно из эксперимента, от направления поля интенсивность поглощения света не зависит, т.е. проявляющий себя здесь электрооптический эффект квадратичен по полю, что достаточно определенно следует из рис. 2б, где представлены зависимости сигнала на выходе волновода  $\ln(I/I_0)$  от квадрата приложенного напряжения.

Таким образом, показана возможность создания в легированных полупроводниками стеклах волноводов высокого качества и продемонстрирована высокая эффективность использования электроабсорбционного эффекта в таких стеклах для модуляции света в волноводном режиме:

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Garret B., White I. H., Gailagher D. F. G. *Electron. Lett.*, **23**, N 22, 1193 (1987).
2. Johnson B. C. *Electron. Lett.*, **24**, N 3, 182 (1988).
3. Okamoto H. *Jap. J. Appl. Phys.*, **26**, N 3, 315 (1987).
4. Abeles J. H., Kastalsky A., Leheny R. F. *J. Lightwave Technol.*, **LT-5**, N 9, 1296 (1987).
5. Little J. W., Whisnaut J. K., Whilson R. P. *Appl. Phys. Lett.*, **51**, N 22, 1786 (1987).
6. Das U., Chen Y., Bhattacharya P. *Appl. Phys. Lett.*, **51**, N 21, 1679 (1987).
7. Stegeman G. I., Seaton C. T. *J. Appl. Phys.*, **58**, N 12, R57 (1985).
8. Вандышев Ю. В., и др. *Письма в ЖЭТФ*, **46**, вып. 10, 393 (1987).
9. Najafy S. T. et al. *Appl. Opt.*, **27**, N 5, 806 (1988).
10. Екимов А. И., Онущенко А. А. *ФТП*, **16**, 7, 1215 (1982).
11. Banyai L., Linberger M., Koch S. W. *Opt. Lett.*, **13**, N 13, 212 (1988).
12. Yomoto J. *Opt. Lett.*, **12**, N 10, 832 (1987).
13. Jerominek H. et al. *J. Appl. Phys.*, **63**, N 3, 957 (1988).
14. Gabel A. et al. *Appl. Phys. Lett.*, **51**, N 21, 1682 (1987).
15. Friberg S. R., Smith P. W. *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-23**, N 12, 2089 (1987).
16. Екимов А. И. и др. *ЖТФ*, № 3, 1989, 202 (1989).
17. Галечян М. Г. и др. *Квантовая электроника*, **16**, № 2, 344 (1989).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 14 июля 1989 г.