

- [4] A l i m p i e v S.S., A r t j u s h e n k o V.G.,
B u t v i n a L.N., et al. // International. J. of
Optoelectronic. 1988. V. 3. N 4. P. 333-344.
- [5] L e v y M.B., L a a k m a n n K.D. // Proc.
SPIE. 1986. V. 605. P. 57-58.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
14 июня 1988 г.
В окончательной редакции
3 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

06.3; 07; 12

ДИНАМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ЧАСТОТ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ УКИ
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДАХ

А.И. З а в а л и н, В.Ф. Л а м е к и н,
В.Л. С м и р н о в

Исследования методов фильтрации пространственных частот (ПЧ) в волноводных структурах, в том числе согласованной голографической фильтрации, показали их перспективность для решения задач распознавания образов [1-2], улучшения качества и преобразования передаваемых изображений [3-4]. С возрастанием потока информации, подлежащей обработке с помощью управляемых адаптивных устройств в реальном масштабе времени, возникает необходимость использования ультракоротких лазерных импульсов (УКИ) и малоинерционных перестраиваемых фильтров.

В настоящей работе представлены результаты исследования динамических волноводных голограмм и возможности проведения голографической согласованной фильтрации, а также исследования динамических амплитудных фильтров и возможности проведения фильтрации выборочных ПЧ на основе неравновесных носителей заряда (ННЗ), индуцированных лазерными УКИ в полупроводниковых планарных волноводах на основе соединений $A^{III}B^V$.

Голограммы формировались по схеме Фурье-Фраунгофера внешними УКИ, интерферирующими в плоскости планарного волновода. Считывание производилось УКИ, распространяющимися по волноводу. Для проведения согласованной голографической фильтрации или амплитудной фильтрации отдельных ПЧ в области записанной голограммы или амплитудного фильтра формировался Фурье-спектр изображения, передаваемого по волноводу [1, 4]. Причем во втором случае фильтр ПЧ формировался одним УКИ, а необходимое распределение интенсивности создавалось с помощью цилиндрической линзы и щелевой диафрагмы. Для записи и считывания использовались

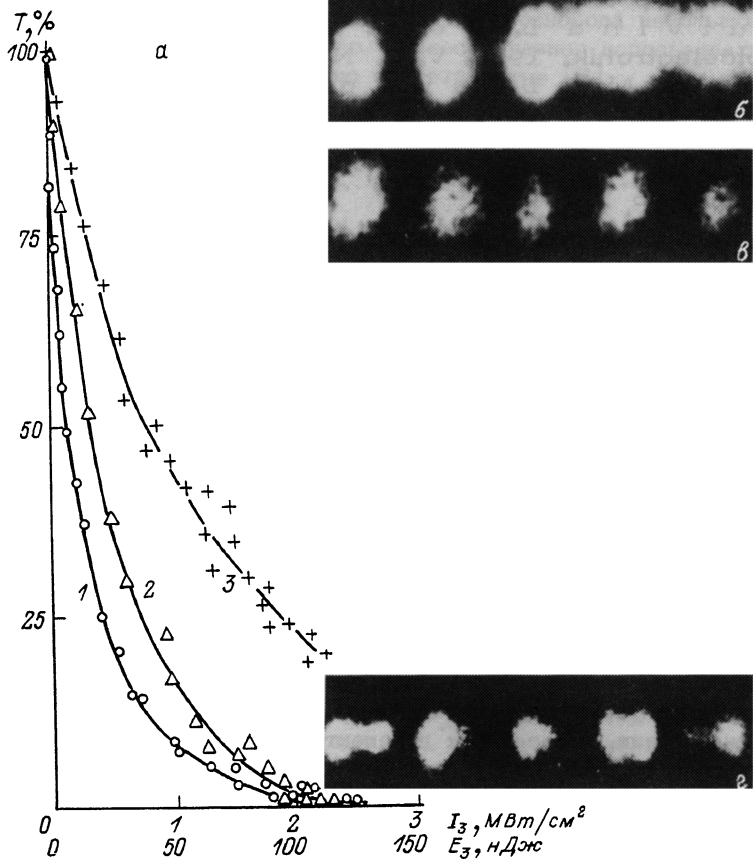


Рис. 1.

соответственно вторая гармоника ($\lambda_3 = 0.54 \text{ мкм}$) и основное излучение ($\lambda_c = 1.08 \text{ мкм}$) неодимового лазера с длительностью УКИ $\tau_{\text{и}} = 20 \text{ пс}$. В эксперименте применялись волноводные эпитаксиальные пленки состава $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$ ($x = 0.03 - 0.3$) на подложке GaP . В общем случае распределение НЗ по толщине волновода с течением времени будет носить сложный характер, определяемый величиной коэффициента поглощения полупроводника, скоростями поверхностной и объемной рекомбинации НЗ, диффузии и т.д., так что эффективность взаимодействия считывающего УКИ со сформированным фильтром будет определяться интегралом перекрытия поля волноводной моды и функции распределения НЗ по толщине волновода. Однако, поскольку коэффициент поглощения записывающего УКИ $\alpha_3 = 50 - 300 \text{ см}^{-1}$ (при $x = 0.03 - 0.3$), а волноводный слой имеет

толщину 7–3 мкм соответственно, то на толщине волноводного слоя поглощается 3.5–10 % энергии записывающего УКИ, а также слой, захватываемый поверхностной рекомбинацией, занимает значительную часть волноводного слоя [5]. Потери энергии волноводной моды в отсутствие фильтра на длине волны $\lambda_c = 1.08$ мкм составили 1–1.5 дБ/см (для TE_1 -моды). Все это позволяет считать распределение НЗ однородным по толщине волноводного слоя и просто определить интенсивность $I(y, z)$ волноводного излучения после амплитудной фильтрации: $I(y, z) = I_0 e^{-\Delta\alpha_c(y)z}$, где $I_0(y)$ – распределение интенсивности волноводного излучения вдоль Фурье-плоскости в отсутствие фильтра, $\Delta\alpha_c(y)$ – коэффициент поглощения волноводного излучения на НЗ, z – длина фильтра вдоль направления распространения волноводного излучения. В соответствии с [6] $\Delta\alpha_c(y) = \sigma N(y)$, где $N(y)$ – распределение НЗ вдоль Фурье-плоскости, σ – суммарное сечение поглощения на электронах и дырках. Для используемого материала волноводного слоя $\sigma = 1.8 \cdot 10^{-17}$ см² [6]. В случае реально достижимых величин $N \sim 10^{18} - 10^{19}$ см⁻³, получаемых с помощью УКИ, коэффициент поглощения $\Delta\alpha_c \sim 10 - 100$ см⁻¹ и длина амплитудного фильтра для подавления ПЧ в ϵ раз должна составлять $z \sim 0.1 - 1$ мм. Экспериментальные зависимости коэффициента пропускания T амплитудного фильтра нулевой ПЧ, записанного в волноводном слое состава $GaAs_{0.3}P_{0.7}$, от мощности I_3 и энергии E_3 записывающего УКИ, поглощенной в волноводе, представлены на рис. 1, а. Фильтр записывался с помощью цилиндрической линзы с $F_3 = 100$ мм и щелевой диафрагмы для регулирования величины z , которая составила для кривых 1–3 величину 500 мкм. Кривые 1–3 соответствуют задержке τ_3 момента прохождения передающего УКИ через фильтр относительно момента записи фильтра $\tau_3 = 100, 300, 500$ пс соответственно. Из кривой 1, считая, что рекомбинировало незначительное количество НЗ, по формулам 1–2 можно рассчитать $\sigma = 1.87 \cdot 10^{-17}$ см², совпадающее со значением, полученным в работе [6] в пределах ошибки эксперимента 10 %. На рис. 1 (б–г) показаны снимки с экрана ЭОП переданного изображения фрагмента штриховой миры с частотой штрихов $\nu_c = 11$ мм⁻¹ при пропускании фильтра $T = 100, 80, 10$ % соответственно. Видно, что фильтр позволяет устранить шумовую засветку и выделить информацию о краях штрихов транспаранта, элементах с наибольшим градиентом пропускания. Аналогично может быть отфильтрована произвольная ПЧ, причем для приборной реализации данного фильтра возможна подача записывающего УКИ к поверхности волновода по волоконным световодам. В этом случае могут использоваться несколько записывающих УКИ, подаваемых от независимых источников.

Для записи голографических согласованных фильтров использовались волноводы состава $GaAs_{0.03}P_{0.97}$, позволяющие уменьшить паразитное рассеяние считывающего УКИ и использовать в основном фазовую запись с вкладом амплитудной около 10 %. На рис. 2, а показана зависимость дифракционной эффективности голограммы $2/2_{max}$ от времени задержки считывания τ_3 относительно момента

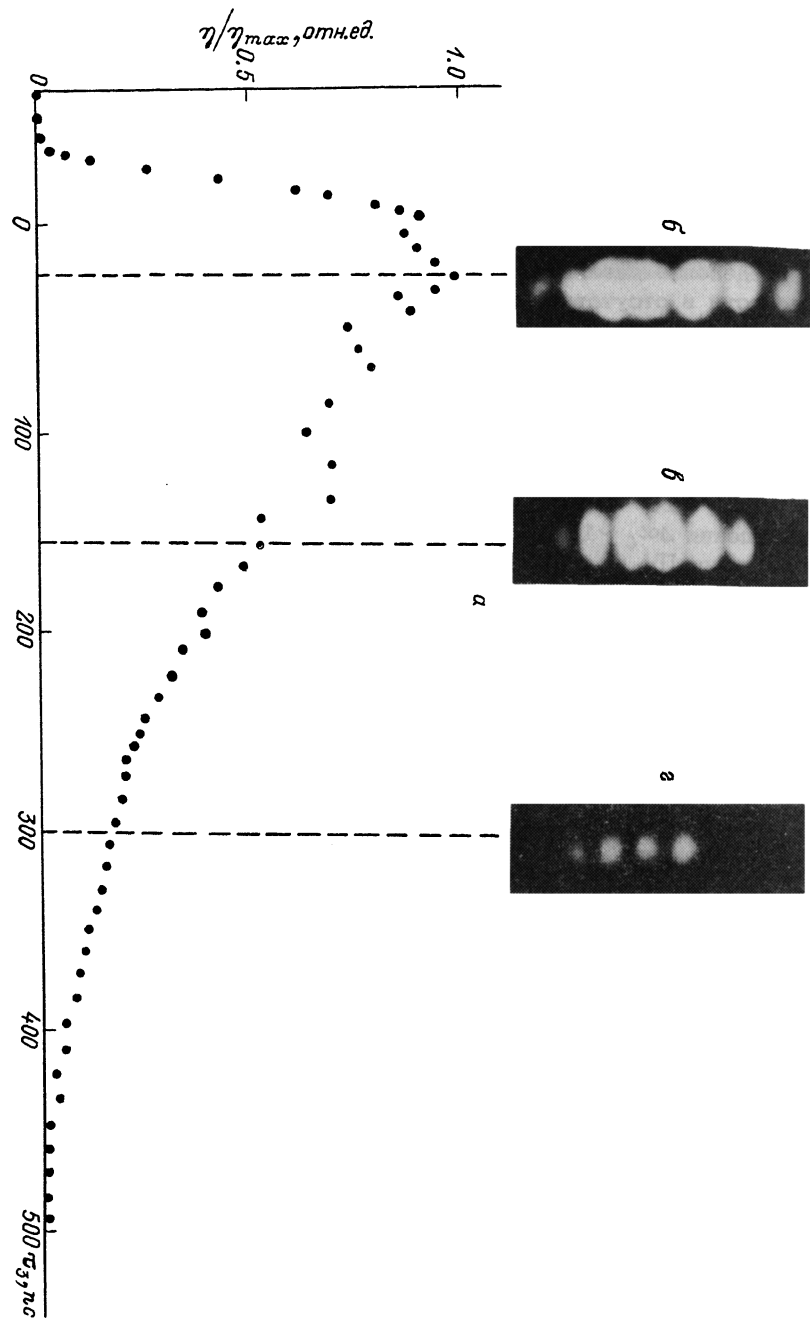


Рис. 2.

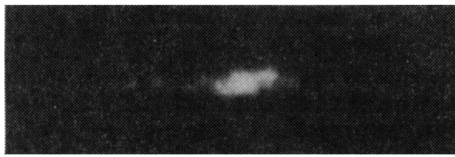


Рис. 3.

записи голограммы при восстановлении параллельным пучком, ориентированным под углом Брэгга. Видно, что время хранения записанной информации (на уровне 1/2) составляет 170 ± 20 пс. При интенсивности записывающих УКИ $I_3 = 32$ МВт/см² и длине голограммы вдоль направления распространения считывающего УКИ равной 3 мм максимальная дифракционная эффективность η_{max} составила 28 ± 3 %. На рис. 2 (б-г) показаны снимки восстановленного изображения штриховой миры с частотой штрихов $\nu_3 = 22$ мм⁻¹ при $\tau_3 = 40, 150, 300$ пс, показывающие, что с течением времени не происходит размывания части изображения вследствие процессов диффузии.

Поскольку фокусные расстояния для записывающего и считывающего УКИ $F_3 = F_c = 100$ мм, а длины волн отличаются: $\frac{\lambda_3}{\lambda_c} = 1/2$, то максимальный сигнал корреляции будет получен при $\frac{\nu_3}{\nu_c} = 2$ [7]. На рис. 3 показан снимок корреляционного сигнала при $\nu_3 = 22$ мм⁻¹, $\nu_c = 11$ мм⁻¹ и $\tau_3 = 0$. Дифракционная эффективность согласованного фильтра составила около 3 %. При расстройке ν_c на величину ± 1 мм⁻¹ сигнал корреляции не наблюдался. Следует отметить, что в данном случае эффективная длина голограммы существенно уменьшается ввиду непараллельности фокальных плоскостей F_3 и F_c , и определяется перекрытием соответствующих перетяжек считывающего и записывающего пучков. Для увеличения избирательной способности фильтра его элементы формировались параллельно фокальной плоскости F_c с помощью вращающейся щелевой диафрагмы, и эффективная длина фильтра составила около 500 мкм. Дифракционную эффективность и избирательность фильтра можно существенно увеличить при записи динамических голограмм с помощью УКИ, распространяющихся в волноводе с переменным составом, что является предметом дальнейших исследований.

Таким образом, в данной работе показана возможность записи динамических пикосекундных голограмм одномерных изображений в полупроводниковых планарных волноводах с плотностью записи около 300 бит/мм, голографической согласованной фильтрации с избирательностью ± 1 мм⁻¹ и отношением сигнал/шум около 20 дБ. Также показана возможность амплитудной фильтрации произвольной ПЧ с эффективностью вплоть до 100 %. С помощью таких фильтров может быть обработан поток информации около 10^3 Гбит/с.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б ы к о в с к и й Ю.А., К а з а к е в и ч А.В., Л а м е - к и н В.Ф., М и р о н о с А.В., С м и р н о в В.Л. // П и с ь м а в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 7. С. 414-418.
- [2] Б а б л у м я н А.С., М о р о з о в В.Н., П у т и - л и н А.Н., Ш е р м е р г о р Т.Д. // Т р у д ы Ф И А Н. 1987. Т. 185. С. 164-190.
- [3] Б ы к о в с к и й Ю.А., К у л ь ч и н Ю.Н., С м и р - н о в В.Л. // О п т и к а и с п е к т р о с к о п и я. 1982. Т. 52. № 6. С. 1060-1062.
- [4] З а в а л и н А.И., К у л ь ч и н Ю.Н., М и р о н о с А.В., С м и р н о в В.Л. А в т. с в и д е т е л ь с т в о № 1182467, Б ю л л. и з о б р. № 36 от 30.09.85.
- [5] З а в а л и н А.И., К а р а в а н с к и й В.А., Л а м е - к и н В.Ф., Н и к о л а е в И.В., С м и р н о в В.Л. // К в а н т о в а я э л е к т р о н и к а. 1988. Т. 15. № 7. С. 1326-1328.
- [6] L u n T.M., C h e n Y.C., N e w h i r e M. // A p p l. P h y s. L e t t. 1987. V. 50. N 15. P. 947-949.
- [7] К о л ь е р Р., Б е р к х а р т К., Л и н Л. О п т и ч е с к а я г о л о г р а ф и я. М.: М и р, 1973. 686 с.

П о с т у п и л о в Р е д а к ц и ю
26 о к т я б р я 1988 г.
В о к о н ч а т е л ь н о й р е д а к ц и и
16 я н в а р я 1989 г.