

УДК 621.382.82 : 621.378.535.511 (080.8)

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА НА СВЯЗАННЫХ ПЛОСКИХ ВОЛНОВОДАХ

А. И. Гудзенко, Л. Н. Дерюгин, Л. А. Осадчев, В. А. Марков,
Г. А. Синтюрин и А. А. Тищенко

Приводятся результаты исследования взаимодействия оптической волноводной волны, распространяющейся в связанных волноводах, с продольной акустической волной. Осуществлена 100% амплитудная модуляция оптической волноводной волны с частотой равной одинарной и двойной частоте акустической волны.

В интегральных оптических системах обработки информации требуются быстродействующие элементы для управления параметрами оптической волноводной волны (ОВВ), в частности, для управления ее амплитудой.

Представляется перспективным исследование устройств, принцип действия которых основан на взаимодействии ОВВ с акустическими

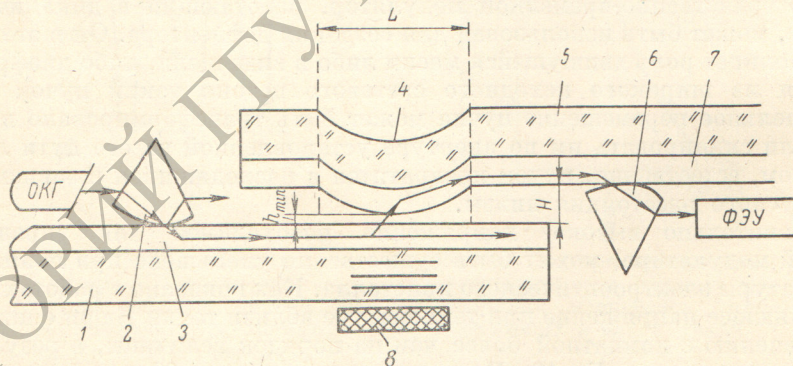


Рис. 1. Схема амплитудного акустооптического модулятора на связанных оптических волноводах.

объемными волнами (АОВ), поскольку на основе такого взаимодействия могут быть изготовлены наиболее быстродействующие из акустооптических устройств. Быстродействие в таких устройствах определяется в основном резонансной частотой пьезопреобразователя (в настоящее время сравнительно просто могут быть изготовлены пьезопреобразователи на частоте в несколько гигагерц). Однако эффективность взаимодействия ОВВ с АОВ в известных устройствах не превышает эффективность взаимодействия оптических объемных волн с АОВ и составляет несколько процентов [1].

В настоящей работе исследуется амплитудный модулятор на связанных плоских волноводах, позволяющий значительно повысить эффективность взаимодействия АОВ с ОВВ. Схема модулятора представлена на рис. 1, где цифрами обозначено: 1 и 5 — подложки волнопроводов, из стекла от фотопластинок, 3 и 7 — несущие слои волнопроводов из полистирола, 2 и 6 —

вводная и выводная призмы из стекла ТФ-5, 4 — устройство для регулировки зазора h_{\max} между несущими слоями волноводов, 8 — пьезопреобразователь.

Выражение для коэффициента передачи мощности η в таком ответвителе имеет вид [2]

$$\eta = \sin^2 \left\{ \frac{L (\varepsilon_2 - \gamma_m^2) \exp(-h_{\min}/d_m)}{k \gamma_m (\varepsilon_2 - \varepsilon_3) d_{\text{эф. м}} \sqrt{2Hd_m}} \sqrt{\frac{\pi}{2}} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{2H}{d_m}} \right) \right\}, \quad (1)$$

где $d_{\text{эф. м}} = d + (1/k \sqrt{\gamma_m^2 - \varepsilon_2}) + (1/k \sqrt{\gamma_m^2 - \varepsilon_3})$, $d_m = 1/k \sqrt{\gamma_m^2 - \varepsilon_3}$ — глубина проникновения поля ОВВ в воздушную среду, L — длина взаимодействия полей ОВВ, $k = 2\pi/\lambda$ — постоянная распространения оптической

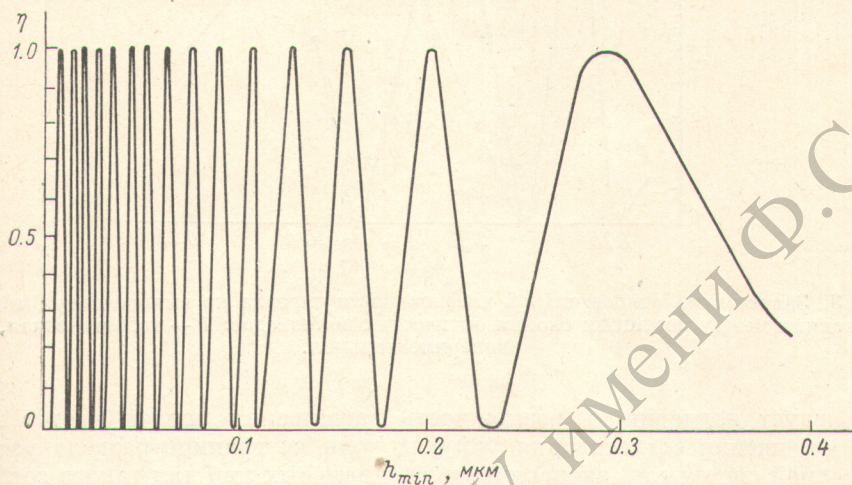


Рис. 2. Зависимость коэффициента передачи мощности от расстояния между несущими слоями оптических волноводов.

волны в вакууме, λ — длина оптической волны, γ_m — коэффициент фазового замедления для m -той моды, m — номер моды, ε_1 , ε_2 , ε_3 — диэлектрические постоянные материалов подложек, несущих слоев и воздуха соответственно, d — толщина несущих слоев, H — величина зазора, создаваемого прокладками между волноводами.

Зависимость η от h_{\min} , рассчитанная согласно (1), представлена на рис. 2 для следующих параметров системы: $L = 56$ мм, $\gamma_m = 1.5526$, $\lambda = 0.6328$ мкм, $H = 30$ мкм, $\varepsilon_1 = 2.2892$, $\varepsilon_2 = 2.5059$, $\varepsilon_3 = 1$, $d = 1.705$ мкм.

Поверхность несущего слоя под воздействием продольной акустической волны, распространяющейся перпендикулярно к ней, будет совершать колебания, что вызовет изменения h_{\min} . Если h_{\min} находится на одном из склонов кривой рис. 2, то изменения h_{\min} вызовут изменения η с частотой акустической волны Ω . Если h_{\min} находится на одной из экстремальных точек рис. 2, то изменения h_{\min} вызовут изменения η с частотой 2Ω . Для получения 100 %-й глубины модуляции в нашей системе достаточно обеспечить амплитуду колебания поверхности несущего слоя волновода, равную половине расстояния между соседними экстремальными точками на рис. 2. Так, например, при $h_{\min} = 0.04$ мкм достаточно иметь амплитуду колебания несущего слоя 0.002 мкм, что можно обеспечить при акустической мощности 0.177 Вт/мм².

В эксперименте на электроды пьезопреобразователя из пьезокварца XV-среза размером 10×14 миллиметров с резонансной частотой $\Omega = 29$ МГц, связанного с подложкой оптического волновода через эпоксидную смолу, подавался высокочастотный сигнал с меандровой модуляцией. Оптическое излучение, выводимое из системы, подавалось на ФЭУ-77 и далее через усилитель с полосой 3 МГц — на осциллограф.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3 и 4. Зависимость амплитуды сигнала от h_{\min} изображена на рис. 3. Здесь же штрихом нанесена часть теоретической кривой, достаточно хорошо совпадающей с экспериментальной кривой зависимости амплитуды сигнала от h_{\min} . На рис. 4 представлены зависимости эффективности модуляции от частоты Ω (сплошная линия) и от напряжения сигнала на электродах преобразователя U (штриховая линия).

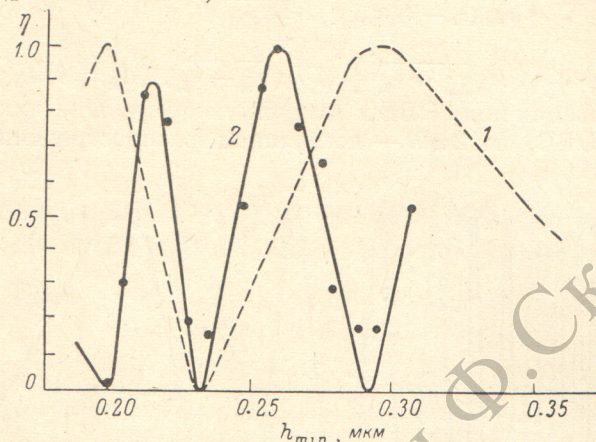


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности сигнала на выходе модулятора от расстояния между несущими слоями оптических волноводов: 1 — теоретическая, 2 — экспериментальная.

Следует подчеркнуть возможность расширения полосы частот АОВ при улучшении согласования упругих волн на границе раздела рассматриваемой системы. В эксперименте специальных мер для такого согласования принято не было.

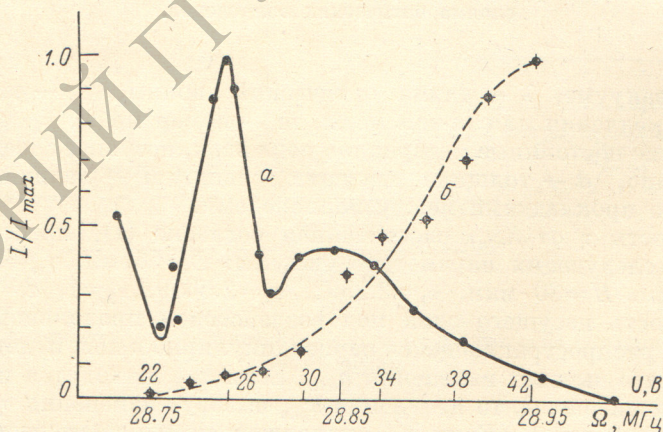


Рис. 4. Зависимость относительной интенсивности сигнала на выходе модулятора от частоты несущей (а) и от высокочастотного напряжения (б) на электродах пьезопреобразователя.

Общие потери света через модулятор складывались из потерь на призмном возбуждающем устройстве входного волновода (22%), потерь в волноводах (39% при длине пути света в волноводах 12.6 см) и потерь при перекачке света из входного волновода в выходной (6%). Таким образом, в эксперименте общие потери света составляли 67%. Заметим, что в работе не ставилась задача получить минимальные общие потери света через модулятор. Они могут быть существенно снижены уменьшением длины пробега света в волноводах, увеличением качества волноводов и увеличением эффективности возбуждения входного волновода. При опти-

мальном выборе этих параметров потери через описанный модулятор могут быть снижены до 10 %.

Результаты работы позволяют судить о принципиальной возможности 100 %-й модуляции ОВВ по рассматриваемой методике в оптических волноводах, выполненных как из кристаллических, так и из изотропных и аморфных материалов, как на основной, так и на удвоенной частоте акустических волн.

Литература

- [1] L. S. Man'har. Appl. Phys. Lett., 23, 75, 1973.
[2] А. И. Гудзенко, Л. Н. Дерюгин, Л. А. Осадчев, В. Е. Сотин, А. А. Тищенко, В. А. Шубин. Межвузовский сборник трудов «Новые элементы в информационных системах». 69. МИРЭА, М., 1977.

Поступило в Редакцию 9 октября 1978 г.
