

в побочные направляемые моды соответствующей четности может „перекачиваться“ до нескольких процентов мощности. Полученный результат качественно согласуется с данными эксперимента. Коэффициент нелинейности, которым обычно характеризуют оптическую нелинейность керровской среды, n_2 при $\lambda = 0.63$ мкм предполагался равным 10^{-7} см²/Вт. Эта величина соответствует значениям n_2 при $\lambda = 0.54$ мкм [2], если учесть корреляцию между величиной n_2 и коэффициентом поглощения на длине волны возбуждающего света.

В излучательные моды, согласно нашим оценкам, за счет фото-рефракции рассеивается менее 1% мощности. Сопоставляя эти оценки с экспериментом (рис. 2), можно полагать, что механизм нелинейных потерь в волноводе определяется в основном фотопоглощением.

Авторы выражают благодарность Т.Ф. Мазец и В.Х. Шпунту за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Коломиец Б.Т., Мазец Т.Ф., Павлов С.К. - ФТП, 1978, т. 12, № 8, с. 1590-1594.
- [2] Мазец Т.Ф., Павлов С.К., Сморгонская Э.А., Шифрин Е.И. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 13, с. 802-805.
- [3] Андриеш А.М. - Тезисы докладов конференции „Аморфные полупроводники-84“, с. 205-211.
- [4] Vincent P., Paraire N., Nevier eM., Koster A., Reinisch R. - J. Opt. Am. B., 1985, v. 2, N 7, p. 1106-1116.
- [5] Маркузе Д. Оптические волноводы, М.: Мир, 1974, с. 392-417.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
19 января 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 7

12 апреля 1988 г.

АКУСТООПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ

И.Б. Беликов, В.Б. Волошинов,
А.Б. Касьянов, В.Н. Парыгин

Брэгговская дифракция света на ультразвуке может быть использована для спектральной фильтрации электромагнитного излучения [1]. Разрабатываемые в настоящее время акустооптические (АО)

приборы спектрального анализа привлекают внимание своей универсальностью и надежностью. Основу таких приборов составляют акустооптические перестраиваемые фильтры (АОФ) [2, 3]. Они характеризуются высоким спектральным разрешением $R = (\lambda / \Delta\lambda) \sim 10^3$ и широкими диапазонами перестройки, достигающими октавы и более. Особый интерес представляет применение АОФ для фильтрации электромагнитного излучения в ультрафиолетовой части спектра [4]. В настоящем сообщении рассмотрены принципы использования АОФ для спектрофотометрических исследований в ультрафиолетовом диапазоне. Фильтрация реализована с помощью акустооптического спектрофотометра на кристалле кварца.

Выбор кварца как АО материала фильтра определяется прозрачностью кристалла для ультрафиолетовых лучей. Недостатком материала является низкое значение акустооптического качества M_2 [5]. Поэтому пропускание T кварцевых коллинеарных фильтров оказывается низким, не превышающим единиц процентов на ватт потребляемой электрической мощности.

Улучшение энергетических параметров спектрометра ультрафиолетового диапазона достигается при использовании кварцевого фильтра, предложенного в [6]. Увеличение эффективности АО взаимодействия и пропускания фильтра обеспечивается выбором соответствующего направления распространения света, для которого значение M_2 больше, чем в коллинеарной схеме. Кроме того, в подобном фильтре волновой вектор света \vec{k} коллинеарен вектору групповой скорости ультразвука \vec{s} , что позволяет увеличить длину области АО взаимодействия и уменьшить спектральную полосу пропускания АОФ $\Delta\lambda$.

Акустооптический фильтр оптимального типа был использован в настоящей работе. Фильтр представлял из себя кристалл α - SiO_2 длиной $L = 8$ см с пьезопреобразователем размером $1.5 \times 1.5 \text{ мм}^2$. Предварительное экспериментальное исследование фильтра показало, что его пропускание составляет $T = 10\%$ при потребляемой электрической мощности $P = 2$ Вт, спектральная полоса $\Delta\lambda = 0.3$ нм на длине волны $\lambda = 441.6$ нм. При переходе в ультрафиолетовый диапазон коэффициент пропускания T и спектральное разрешение увеличиваются как $(1/\lambda^2)$ и $(1/\lambda)$ соответственно.

В акустооптических фильтрах выходным оптическим сигналом является дифрагированный свет. Падающий и дифрагированный оптические пучки имеют ортогональную поляризацию, поэтому выделение отфильтрованного излучения осуществляется с помощью поляризатора. Очевидно, что несовершенство оптических элементов поляризаторов и кристалла приводит к появлению на выходе фильтра паразитного неотфильтрованного излучения.

Предположим, что на фильтр падает излучение с некоторым распределением спектральных интенсивностей $S(\lambda)$ в полосе $\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ спектральной чувствительности фотоприемника, регистрирующего выходной оптический сигнал. Интенсивность сигнала, соответствующего отфильтрованному свету в полосе длин волн $\Delta\lambda$ вблизи λ_0 , будет равна

$$I_c = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} T(\lambda - \lambda_0) S(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где $T(\lambda)$ – аппаратная функция, отличная от нуля вблизи полосы пропускания фильтра. Интенсивность паразитного неотфильтрованного сигнала записывается в виде

$$I_n = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K S(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где K – коэффициент паразитного пропускания оптической системы фильтрации. Если в качестве фотоприемника используется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), то воздействие светового сигнала I_n вызовет появление на выходе ФЭУ дробового шума величиной $S_{ш} = \beta I_n$, где β – описывает шумовые свойства фотоумножителя [7].

Как правило, спектральная полоса пропускания АОФ $\Delta\lambda \sim 1$ нм, а диапазон перестройки $\delta\lambda$ – сотни нанометров. В этом случае при перестройке устройства временами, соответствующими быстродействию фильтра $\tau \sim 10^{-5}$ с, напряжение шумов на выходе приемника оказывается больше величины полезного сигнала. Для выделения сигнала из шума с одновременным исключением влияния засветки I_n и низкочастотных дрейфов в приемном тракте целесообразно модулировать акустическую волну в АОФ сигналом некоторой частоты Ω с последующим синхронным детектированием выходного напряжения ФЭУ по этому сигналу. С учетом (1) и (2) отношение сигнал-шум η на выходе фильтра получается равным

$$\eta = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} T(\lambda - \lambda_0) S(\lambda) d\lambda}{\beta \sqrt{\Delta\Omega} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K S(\lambda) d\lambda}, \quad (3)$$

где $\Delta\Omega$ – полоса пропускания схемы синхронного детектирования, определяющая реальное быстродействие системы фильтрации.

Из соотношения (3) следует, что основные параметры системы фильтрации, такие, как спектральная полоса $\Delta\lambda$, диапазон перестройки $\delta\lambda$, быстродействие и отношение сигнал/шум, оказываются взаимосвязанными. Изменение с целью улучшения одного из параметров неизбежно приводит к ухудшению остальных.

Особенностью кварцевого АОФ для ультрафиолетового диапазона является низкое значение коэффициента пропускания $T \ll 10\%$. В соответствии с соотношением (3) для получения удовлетворительного значения η при малом T и сохранении высокого спектрального разрешения необходимо либо уменьшение диапазона перестройки $\delta\lambda$, либо существенное снижение быстродействия, т. е. увеличение времени измерения t .

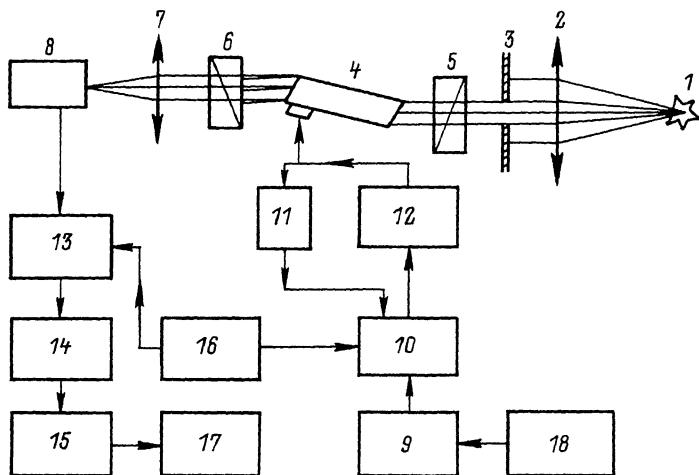


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

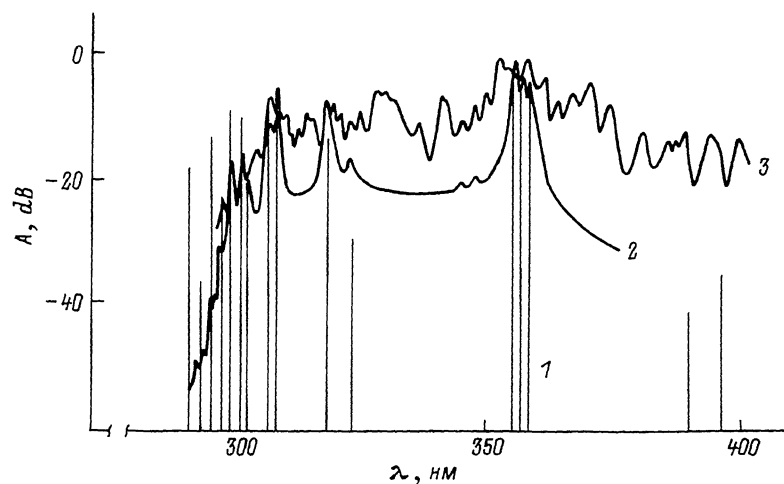


Рис. 2. Экспериментально зарегистрированные спектры излучения: 1 - лампа ПРК-4; 2 - лампа ДРШ-500-М; 3 - спектр прямой солнечной радиации.

Рассмотренные выше закономерности работы акустооптической системы фильтрации были учтены при экспериментальной реализации устройства. Схема установки представлена на рис. 1. Оптическая часть включает источник излучения 1, коллиматор 2, диафрагму 3, АО фильтр 4, скрещенные поляризаторы 5 и 6, а также линзу 7,

фокусирующую свет на фотокатод ФЭУ 8. В качестве поляризаторов использовались призмы Глана-Фуко.

Электрическая схема установки включала в себя высокочастотную часть для подачи ВЧ сигнала на преобразователь АОФ и низкочастотную часть для аналоговой обработки сигнала с выхода ФЭУ. В состав ВЧ части входили генератор качающейся частоты 9, схема модулятора и автоматической регулировки уровня ВЧ мощности 10 с детектором 11 и широкополосный усилитель мощности 12. В состав низкочастотной части входили синхронный детектор 13, фильтр нижних частот 14 с частотой среза, изменяемой от $\Delta\Omega=0.2$ до $\Delta\Omega=5$ Гц, логарифмический преобразователь 15, а также генератор сигнала 16 частоты $\Omega=10$ кГц. Аналоговый сигнал, пропорциональный логарифму относительной спектральной интенсивности A , подавался на самописец 17. Развертка исследуемого спектра во времени осуществлялась изменением частоты ГКЧ по линейному закону с периодом $t=80$ с с помощью интегратора 18. Для идентификации длин волн в исследуемом спектре на ленту самописца записывались частотные метки с выхода ГКЧ. Пересчет значений частоты ультразвука в длины волн λ производился с помощью данных работы [8].

Для демонстрации возможности фильтрации ультрафиолетового излучения АО методом были записаны спектры излучения ртутно-кварцевых ламп типа ПРК-4 и ДРШ-500-М. Также исследовались спектры излучения прямой солнечной радиации. Экспериментальные результаты представлены на рис. 2. Точность определения длин волн λ оказалась не хуже 0.5 нм. При времени записи спектров в диапазоне длин волн от $\lambda_1=280$ нм до $\lambda_2=400$ нм $t=80$ с отношение сигнал/шум составляло 60 дБ, что соответствует теоретическим оценкам.

В заключение авторы приносят благодарность Л.Н. Магдичу за предоставление акустооптического фильтра.

Л и т е р а т у р а

- [1] Балакший В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
- [2] Магдич Л.Н. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, 44, № 8, с. 1683-1690.
- [3] Chang I.C. - Optical Engineering, 1977, v. 16, N 5, p. 455-465.
- [4] Katzka P., Chang I.C. - Proc. SPIE, Act. Opt. Devices, 1979, v. 202, p. 29-32.
- [5] Волошинов В.Б., Николаев И.В., Парыгин В.Н. - Вест. МГУ, сер. 3, физ. астр., 1980, т. 21, № 2, с. 42-46.
- [6] Kusters J.A., Wilson D.A., Hammond D.L. - Journ. Opt. Soc. Amer., 1974, v. 64, N 4, p. 434-440.

- [7] Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1983. 696 с.
- [8] Sivanya A., Findlay D. - Appl. Opt., 1984, v. 23, N 24, p. 4601-4608.

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
2 февраля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 7

12 апреля 1988 г.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ КРАСИТЕЛЕЙ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 660...860 НМ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ С ЛАМПОВОЙ НАКАЧКОЙ

Б.И. Степанов, Н.Н. Бычков,
В.Г. Никифоров, Л.В. Левшин, Б.Ф. Тринчук,
А.И. Сопин, В.А. Алексеев, А.М. Ланцов,
П.В. Давиденко, Б.М. Ужинов, С.И. Дружинин

Излучение в лазерах на красителях с ламповой накачкой получено в широком спектральном диапазоне длин волн от 340 до 970 нм [1, 2]. Однако этот диапазон перекрыт далеко не полностью и эффективность генерации красителей в УФ, красной и ближней ИК области спектра весьма низкая. Наилучшим из отечественных красителей в красной и ближней ИК области спектра при ламповой накачке являются оксазин 17 (ДКЭ) и нильский синий (ДКЭ), из зарубежных - крезил фиолетовый 670, оксазин 720, LD-700 и оксазин 750 с эффективностью в два-три раза ниже эффективности родамина 6Ж [3, 4]. В более длинноволновом ИК диапазоне излучение получено только на полиметиновых красителях с эффективностью $\sim 10^{-2} \dots 10^{-3} \%$ [5].

Помимо невысокой эффективности, оксазиновые и полиметиновые красители имеют низкую фоточувствительность, особенно полиметиновые, и не обеспечивают генерацию в водных растворах. Отсутствие до настоящего времени красителей для лазеров с ламповой накачкой, способных эффективно работать в красной и ближней ИК области спектра, существенно ограничивало возможности лазеров этого типа. Предлагаемое новое поколение лазерных красителей в значительной степени лишено недостатков известных классов красителей.

Испытания проводились на экспериментальном образце лазера с накачкой трубчатой импульсной лампой ИНП2-4/120 А, охлаждаемой дистиллированной водой. Энергию разряда составляла 30 Дж при длительности импульса ~ 1 мкс. Кювета с раствором красителя имела диаметр 5 мм. Резонатор длиной 230 мм был образован плоскими зеркалами с коэффициентами отражения 0.99 и 0.55.