

02; 12

© 1991 г.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СКАНИРУЮЩЕГО ТЕА — CO₂ ЛАЗЕРА С ЖК ПВМС

В. В. Данилов, О. Б. Данилов, А. И. Сидоров, Е. Н. Соснов

Исследована генерация импульсного сканирующего ТЕА — CO₂ лазера с внутррезонаторным ЖК ПВМС на основе холестерико-нематического перехода. Приведены параметры генерации лазера и рассмотрены их особенности, связанные со свойствами ЖК. Рассмотрено влияние взаимодействия внутррезонаторного излучения с ЖК на профиль распределения излучения.

Введение

Использование жидкокристаллических (ЖК) модуляторов в среднем ИК диапазоне связано с определенными затруднениями, вызванными большой длиной волны излучения. В то же время в работе [1] было показано, что ЖК с холестерико-нематическим переходом (ХНП) и шагом холестерической спирали ~10 мкм могут быть с успехом использованы для внутррезонаторной модуляции излучения CO₂ лазеров (10.6 мкм). В работе [2] были приведены предварительные результаты по управлению излучением импульсного ТЕА — CO₂ лазера с помощью пространственно-временного модулятора света (ПВМС) на основе ЖК такого типа.

Данная работа посвящена более подробному изучению генерации импульсного ТЕА — CO₂ лазера с сопряженным резонатором и ЖК ПВМС. Рассмотрены особенности генерации, связанные со свойствами ЖК, модовый состав излучения лазера и влияние на него взаимодействия излучения с ЖК.

Конструкция ТЕА — CO₂ лазера и ЖК ПВМС

На рис. 1, а приведена оптическая схема лазера. Резонатор состоит из ЖК ПВМС 1, выполненного в виде глухого управляемого зеркала, линзы из Ge 3 с $F=31$ см и полупрозрачного зеркала 5 из Ge с коэффициентом отражения $R=88\%$. ПВМС и зеркало расположены в фокальных плоскостях линзы. Диффрагма 4 позволяет регулировать поперечное сечение пространственной моды 6 резонатора. Разрядная ТЕА камера 2 с разрядным промежутком $8 \times 12 \times 200$ мм и окнами из KCl расположена между линзой и ПВМС. Длительность разряда составляла 250 нс. ЖК ПВМС представляет собой плоскопараллельную ячейку, состоящую из германиевой пластины, просветленной с внешней стороны и имеющей защитное покрытие с внутренней, контактирующей с ЖК, и диэлектрической подложки с матрицей отражающих электродов. Толщина слоя ЖК в ячейке равна 60 мкм. В ПВМС использовалась ЖК смесь цианобифенилов с холестерикообразующей добавкой, шагом холестерической спирали 10 мкм и температурой перехода в изотропное состояние 52 °С.

На рис. 1, б показана матрица отражающих электродов ПВМС, состоящая из столбцов и строк. При «включении» одной строки и одного столбца в резонаторе лазера реализуется одна пространственная мода, однозначно связанная с номером строки и столбца. Таким образом, в лазере может быть реализовано $m \times n$

пространственных положений луча. В наших экспериментах использовались следующие ПВМС: 1 — $m \times n = 8 \times 10$ — 80 положений луча, ширина электрода 0.5 мм (размер эквивалентного отражающего элемента 0.5×0.5 мм), расстояние между электродами 150 мкм; 2 — $m \times n = 32 \times 32$ — 1024 положений луча, ширина электрода 0.15 мм (размер эквивалентного отражающего элемента 0.15×0.15 мм), расстояние между электродами 50 мкм. Полный размер матрицы электродов 5.5×12 мм.

Одной из особенностей сопряженного резонатора является его нечувствительность к разъюстировкам [3]. Это может привести к тому, что светорассеяния в слое ЖК, находящемся в «закрытом» состоянии, будет недостаточно для подавления генерации лазера, хотя в другом типе резонатора, например с плоскими зеркалами, управление при такой же толщине слоя будет надежным. Увеличение же

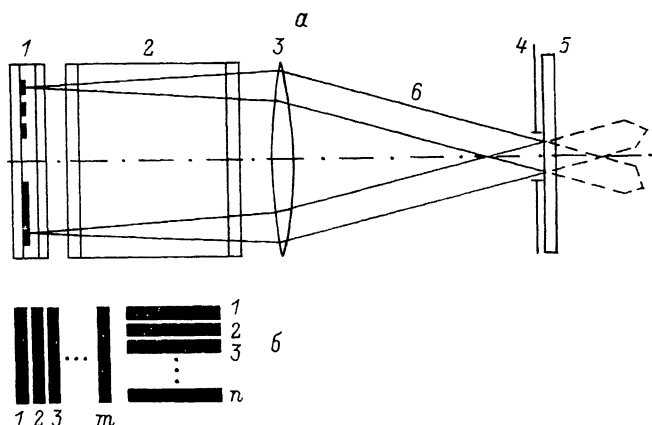


Рис. 1. Оптическая схема лазера (а) и расположение электродов ЖК ПВМС (б).

толщины слоя ЖК нежелательно по ряду причин (одна из которых — необходимость увеличения амплитуды управляющих напряжений). В описанной схеме резонатора излучение, при обходе резонатора, дважды проходит через слой ЖК, что позволяет, несмотря на умеренную толщину слоя, надежно подавить генерацию на «закрытых» элементах.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

В связи с тем что в фокусе линзы резонатора плотность энергии и мощности излучения могла превысить пороги разрушения ЖК и покрытий на германии, энергия генерации ограничивалась на уровне 0.5 мДж путем снижения энерговклада в активную среду и уменьшения поперечного сечения пространственной моды резонатора с помощью диафрагмы.

На рис. 2 приведены зависимости мощности генерации (кривая 1) и временного интервала между импульсом генерации и импульсом разряда (кривая 2) от амплитуды управляющего напряжения. Кривые имеют три характерных участка: $U < 90$ В — участок ХНП, т. е. перехода ЖК из конфокальной, сильно-рассеивающей, текстуры в гомеотропную, с минимальным рассеянием. Генерация возникает при $U > 50$ В, когда потери на светорассеяние в ЖК становятся меньше порога генерации. При $90 < U < 100$ В ЖК имеет невозмущенную гомеотропную текстуру. Энергия генерации при этом равна 0.5 мДж. Задержка импульса генерации минимальна и равна 1.4 мкс. Спад генерации при дальнейшем увеличении напряжения связан с возникновением в ЖК светорассеивающих центров — ЭГД неустойчивостей [4], образующихся под действием тока проводимости ($J = 2$ мкА/см²). Этот эффект может быть устранен путем повышения удельного сопротивления ЖК за счет тщательной очистки его от примесей. При устранении ЭГД процессов обе зависимости при $U > 100$ В идут па-

параллельно оси абсцисс. Для ПВМС-2 зависимости имеют такой же вид, максимальная энергия генерации 0.15 мДж.

На рис. 3 приведены зависимости мощности генерации от положения пространственной моды. При перемещении моды параллельно электродам разряд-

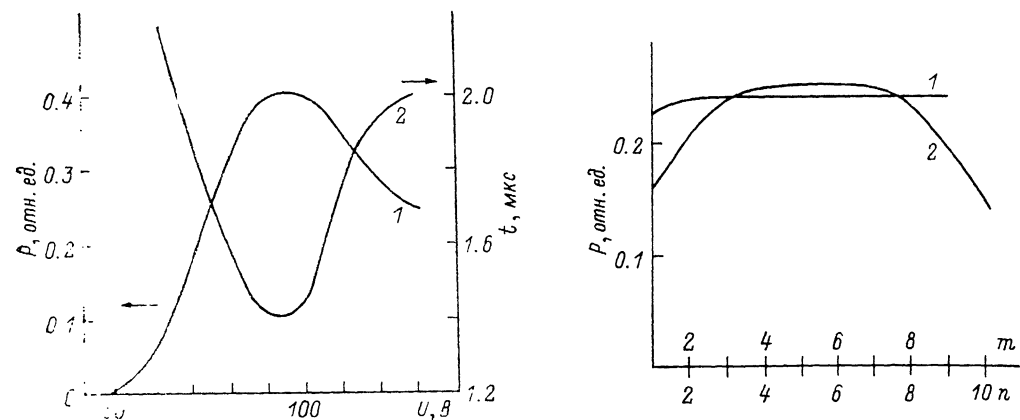


Рис. 2. Зависимость мощности генерации (1) и времени задержки импульса генерации от импульса накачки (2) от управляющего напряжения.

ПВМС-1, диафрагма 7 мм.

Рис. 3. Зависимость мощности генерации от пространственного положения луча.

1 — переключение столбцов (m), 2 — переключение строк (n). ПВМС-1, диафрагма 6 мм.

ной камеры мощность спадает на 5 % лишь для крайнего положения моды, когда она частично выходит из зоны разряда. При переключении мод перпендикулярно поверхности электродов в крайних положениях мощность спадает на 30 % за счет частичного перекрытия моды и электрода.

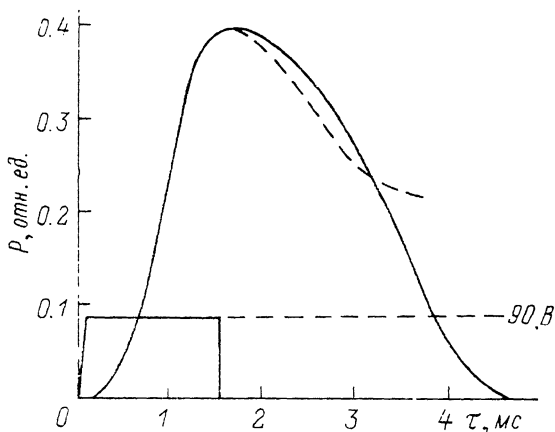


Рис. 4. Зависимость мощности генерации от задержки импульса накачки относительно фронта импульса управляющего напряжения.

$\tau_{\text{упр}}$, мс: сплошная кривая — 1.5, пунктир — > 1.5 ; ПВМС-1, диафрагма 7 мм.

Скорость переключения пространственных мод определяется в основном инерционными свойствами ЖК, которые иллюстрирует рис. 4. При подаче на элемент ПВМС импульса напряжения (показан в нижней части рисунка) начинаются раскрутка холестерических спиралей и переход ЖК в гомеотропное состояние. Этот процесс заканчивается через 1.5 мс после начала импульса. После снятия управляющего напряжения происходит релаксация ЖК в исходное состояние. Амплитуда импульсов генерации в этом временном интервале монотонно убывает до тех пор, пока потери на светорассеяние в ЖК не превысят по-

рога генерации. При длительности управляющего импульса, большей 1.5 мс, имеет место уменьшение мощности генерации со временем (пунктир на рис. 4), связанное с развитием ЭДГ процессов, которое идет с постоянной времени 0.8 мс.

Таким образом, для описанных выше условий эксперимента время переключения пространственных мод при длительности управляющего импульса 1.5 мс составляет 3 мс, что соответствует частоте повторения импульсов генерации 330 Гц. Время переключения мод может быть уменьшено по крайней мере в 2 раза за счет увеличения потерь в резонаторе либо за счет уменьшения усиления. Однако время повторной генерации на одном и том же элементе в несколько раз превышает время переключения мод, приведенное выше, и зависит от энергии генерации. Это связано с возникновением в ЖК «постэффектов» —

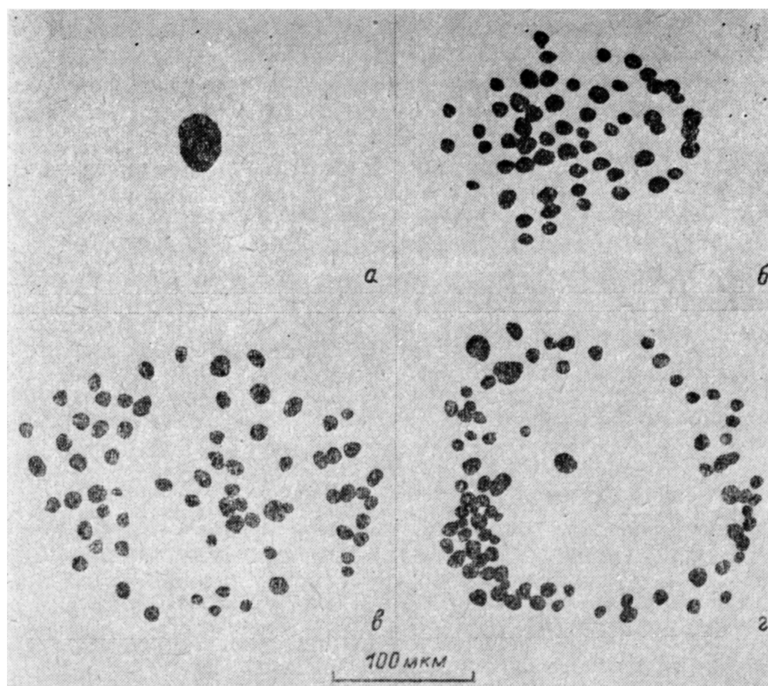


Рис. 5. Модовый состав излучения.

а — ПВМС-2, диафрагма 8 мм; б — ПВМС-1, диафрагма 6 мм; в — ПВМС-1, диафрагма 7 мм; г — ПВМС-1, без диафрагмы; W , мДж: а — 0.4, б — 0.5, в — 0.8, г — 1.5.

образования динамической моды рассеяния, переходящей в мелкомасштабные ЭГД неустойчивости под действием градиентов температуры и давления в облученной зоне ЖК [5].

Для изучения модового состава излучения энерговклад в активную среду был увеличен. Увеличение генерации при этом приводило к разрушению защитного покрытия на германиевой подложке в тех местах, где интенсивность внутрирезонаторного поля была максимальна. Фотографии этих разрушений приведены на рис. 5. Видно, что при эквивалентном размере отражающего элемента ПВМС 0.5×0.5 мм излучение имеет существенно многомодовую структуру, что согласуется с результатом, полученным в работе [6] для CO_2 лазера низкого давления с сопряженным резонатором и управляемым зеркалом из VO_2 . При переходе к отражающему элементу с размером 0.15×0.15 мм генерация происходит на основной моде (рис. 5, а). Из рис. 5, б—г следует, что при увеличении энергии генерации происходит перераспределение электромагнитного поля излучения на отражающем элементе с уменьшением интенсивности поля в центральной части элемента, что связано с воздействием излучения на модулятор. Так как плотность энергии излучения в фокусе линзы резонатора

в данном случае превышает 3 Дж. см^{-2} , то возможна реакция на воздействие излучения как германия [7], так и металлических отражающих электродов [8]. Однако сравнение термодинамических и оптических параметров материалов показывает, что наибольший вклад в изменение оптических свойств облученной зоны ПВМС вносит ЖК.

Нами была рассмотрена модель формирования профиля распределения излучения в резонаторе при его взаимодействии со слоем ЖК, имеющим заметное поглощение. Были сделаны допущения, что на начальной стадии развития генерации поглощение в ЖК части энергии излучения приводит к формированию рассеивающей области за счет разориентации молекул ЖК под действием градиентов температуры и давления. Эта область имеет форму диска (рис. 6, а) и расширяется со скоростью звука в ЖК ($V_{зв} = 1.5 \cdot 10^3 \text{ м/с}$). Был проведен расчет распределения интенсивности излучения на зеркале резонатора для этой

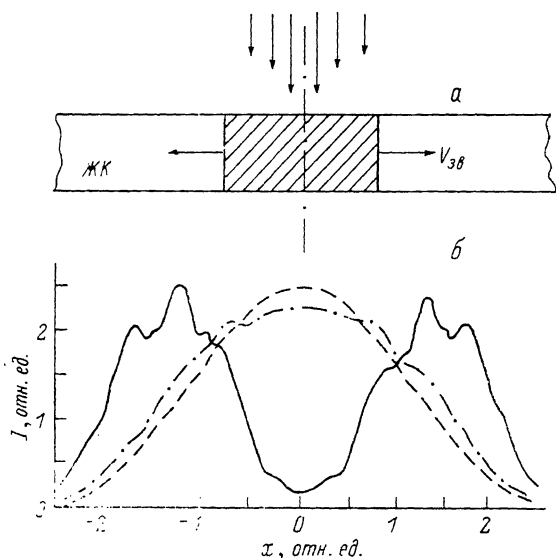


Рис. 6. Модель образования области потерь в ЖК под действием излучения (а) и расчетные профили распределения излучения на зеркале (б).

γ , %: сплошная кривая — 10, штрихпунктир — 5, пунктир — 0.

модели по теории Фокса—Ли [9] для разных уровней эффективных потерь (γ) в расширяющемся диске. Расчет проводился для основной моды. Результаты приведены на рис. 6, б (пунктиром обозначен профиль распределения интенсивности излучения для зеркала без потерь). Из рисунка видно, что при $\gamma > 10\%$ гауссов профиль распределения интенсивности переходит в кольцеобразный профиль. Сопоставление расчетных кривых (рис. 6, б) с экспериментальными результатами (рис. 5, б—г) позволяет считать удовлетворительным достигнутое согласие модели с экспериментом.

При генерации на основной моде (малый энерговклад либо малый размер элементов ПВМС) импульс имеет колоколообразную форму длительностью 200—250 нс. Типичный для импульса генерации ТЕА — CO_2 лазера «хвост» при этом, очевидно, подавляется возникающими в ЖК потерями. При многомодовой генерации на импульс накладываются биения поперечных мод с частотой 15—20 МГц. Длительность импульса генерации в этом случае равна 0.8 мкс.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об определяющем влиянии динамики ЖК текстур на особенности генерации и подтверждают перспективность использования ЖК ПВМС как управляющего элемента в скачующем ТЕА — CO_2 лазере.

Список литературы

- [1] Данилов В. В., Данилов О. Б., Жуковская Л. Д. и др. // Квантовая электроника. 1985. Т. 12. № 8. С. 1690—1694.
- [2] Белименко Т. Н., Данилов В. В., Данилов О. Б. и др. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 9. С. 1786—1790.
- [3] Носова Л. В. // Оптика и спектр. 1987. Т. 62. Вып. 4. С. 866—871.
- [4] Блинов Л. М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. С. 171—232.
- [5] Данилов В. В., Сидоров А. И., Хребтов А. И. // Тез. II Всесоюз. семинара «Оптика жидких кристаллов». Красноярск, 1990. С. 175—176.
- [6] Chivian J. S., Scott M. W., Hill A. E. et al. // IEEE J. Quant. Electron. 1985. Vol. QE-21. N 8. P. 1135—1139.
- [7] Лууконен Р. А., Трофименко А. М. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 8. С. 1602—1604.
- [8] Грамотнев Д. К., Комарницкий А. А. // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 8. С. 1494—1498.
- [9] Fox A. G., Li T. // Bell Syst. Tech. J. 1961. Vol. 40. P. 453—465.

Поступило в Редакцию
30 ноября 1990 г.
В окончательной редакции
8 июля 1991 г.

