

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. Д. Бураков, А. П. Годлевский, В. Е. Зуев, Эффект влияния сорбционных процессов поверхности зеркал на их оптические свойства при воздействии лазерного излучения,
Докл. АН СССР, 1988, том 302, номер 4, 830–833

<https://www.mathnet.ru/dan48396>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.85

18 мая 2025 г., 20:35:47



С.Д. БУРАКОВ, А.П. ГОДЛЕВСКИЙ, академик В.Е. ЗУЕВ

**ЭФФЕКТ ВЛИЯНИЯ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛ
НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Малая воспроизводимость генерационных характеристик лазеров, особенно твердотельных, и сложность управления ими в значительной степени объясняют отсутствие промышленных образцов лазерных источников со стабильными управляемыми спектрально-кинетическими параметрами. Наиболее актуальна необходимость использования данных лазеров в системах, где информация о параметрах исследуемой среды извлекается из анализа изменения спектральных или фазовых характеристик зондирующего луча, например, в лидарах на основе лазерного гетеродинамирования, в задачах внутривибрационной спектроскопии, в других методах спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения.

Влияние изменения оптических параметров зеркал резонатора лазера за счет сорбционных процессов на его генерационные характеристики впервые исследовано в работах [1, 2], где, в частности, наблюдался переход из обычного пикового режима генерации лазера на рубине с хаотичными флуктуациями интенсивности и спектра в квазинепрерывный в процессе активной десорбции молекул атмосферных газов с поверхности зеркал резонатора при нагреве и вакуумировании их до 10^{-4} Тор. В этих же работах было обнаружено существенное изменение спектральных и кинетических характеристик генерации при контакте предварительно обезгаженных зеркал с различной газовой средой.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований, цель которых заключалась в количественной оценке изменения оптических характеристик зеркал в процессе лазерного облучения различной мощности и при различной атмосферной среде, контактирующей с их поверхностью. Облучению подвергались несколько 14-слойных диэлектрических зеркал, изготовленных напылением SiO_2 и TiO_2 на подложку из стекла К8 и находящихся в лабораторной атмосфере. Методика эксперимента позволяла измерять малые кратковременные флуктуации коэффициента отражения зеркала в зависимости от длительности и частоты воздействующих импульсов лазерного излучения.

Изменение оптических характеристик определяли по кинетике генерации He-Ne-лазера, в котором облучаемое зеркало являлось зеркалом резонатора. Выбор последнего в качестве индикатора сорбционных процессов обусловлен его высокой чувствительностью к изменению добротности резонатора и значительной частотой релаксационных колебаний (более 10^8 Гц), что позволило без искажений наблюдать динамику и величину изменения коэффициента отражения облучаемого зеркала при длительности пиков генерации воздействующего лазера на рубине порядка 1 мкс. Исследования проводили при нормальном падении воздействующего луча со стороны подложки зеркала и при угле падения $70-72^\circ$ к его плоскости, причем лучи рубинового и He-Ne-лазера на зеркале строго совмещались и поляризация их излучений ориентировалась в одной плоскости (рис. 1а и 1б соответственно).

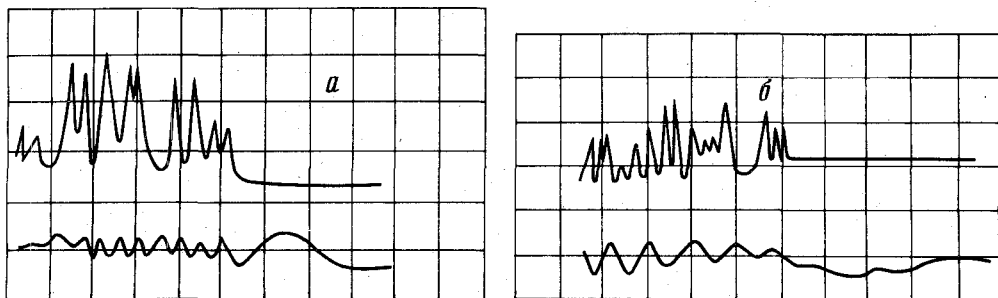


Рис. 1

В процессе облучения под углом к поверхности зеркала излучением лазера на рубине, работающем в режиме свободной генерации, наблюдалась модуляция излучения He-Ne-лазера (рис. 1а). Первоначальная мощность последнего при воздействии одиночным импульсом устанавливалась после окончания генерации через 40–50 мкс. При облучении внутренних слоев покрытия со стороны подложки при нормальном падении луча лазера на рубине также наблюдалась модуляция мощности He-Ne-лазера, причем время процесса восстановления увеличивалось до 100–150 мкс. Во всех экспериментах зарегистрировано уменьшение мощности He-Ne-лазера после периодического облучения зеркала его резонатора импульсами лазера на рубине с частотой повторения 0,05–0,03 Гц. В среднем после 50 импульсов генерация полностью срывалась и ее восстановление примерно до первоначального значения наблюдалось лишь после 8–10 ч. Здесь приведены данные об изменении относительной мощности излучения P_N (погрешность 3%) He-Ne-лазера в зависимости от числа воздействующих импульсов N , а также восстановления мощности после срыва генерации в результате облучения в зависимости от времени:

P_N	1	0,88	0,80	0,74	0,68	0,56	0,50	0,24	0,10	—
N	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$T, \text{ч}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P(T)$	0	0,12	0,14	0,19	0,37	0,53	0,58	0,63	0,69	0,69

Для относительной мощности генерации He-Ne-лазера $\Delta P/P$ при изменении коэффициента отражения зеркала резонатора на величину ΔR можно получить следующее выражение:

$$(1) \quad \frac{\Delta P}{P} = \frac{2 \ln[R_1(R_2 + \Delta R)]^{-1}}{\ln[R_1 R_2]^{-1}} \frac{g}{g-1},$$

где R_1, R_2 — коэффициенты отражения зеркал резонатора; g — относительное превышение накачки над пороговым значением начала генерации. Проведенные по (1) оценки экспериментальных результатов дают ΔR порядка 1–5%. Изменение ΔR при длительном периодическом облучении вплоть до срыва генерации достигает 12–15%. Примененная в экспериментах методика не позволяла измерять большие значения вариаций коэффициента отражения ΔR и исключала возможность исследования оптических параметров зеркал в зависимости от контакта с различной газовой средой.

В связи с этим следующая серия экспериментов поставлена с использованием обычного абсорбционного метода. Соответствующие измерения были проведены при различных плотностях мощности, интегральной длительности импульса и состава контактирующей с поверхностью зеркала газовой среды при воздействии излучением лазера на рубине, работающем в режиме свободной генерации. Три калиброванные

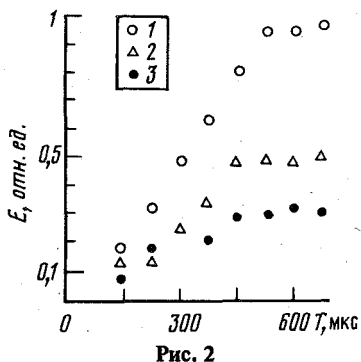


Рис. 2

промышленные измерители энергии определяли: энергию генерации лазера E_0 , энергию прошедшую E_p и отраженную от зеркала E_R . Излучение фокусировалось линзой на зеркало, помещенное в вакуумную камеру. Плотность энергии облучения варьировалась от 0,1 до 15 Дж/см², E_p и E_R измеряли при различных плотностях энергии, вплоть до оптического пробоя на поверхности. Измерения вели после длительного обезгаживания зеркала, при длительном контакте с парами воды (~15 тор) и при напуске атмосферы 70% влажности.

В результате обнаружено увеличение порога пробоя с 5–7 до 12–14 Дж/см² при длительном

обезгаживании зеркал и уменьшение до 2–3 Дж/см² при контакте с парами воды через несколько часов после напуска. Пробой диэлектрического покрытия в случае облучения со стороны подложки происходит при меньшей в 1,5–2 раза плотности энергии, чем при облучении со стороны диэлектрических слоев. На рис. 2 приведены зависимости E_p/E_R от длительности воздействующего излучения (как известно, при увеличении мощности накачки рубинового лазера растет длительность генерации, а не мощность в отдельном пичке). С ростом длительности воздействующего излучения выявлен нелинейный характер роста E_p/E_R , что свидетельствует о нелинейном поглощении падающего излучения слоями диэлектрического покрытия зеркала, причем степень нелинейности увеличивается с увеличением угла падения, что можно объяснить изменением угла между плоскостью поляризации воздействующего излучения и поверхностью зеркала. Факт изменения поглощения линейно поляризованного излучения слоем молекул при изменении угла падения θ отмечен в [3]. На рис. 2 $\theta = 60^\circ$ (1, 2) и 40° (3); 1 – прошедшая энергия, 2, 3 – отраженная.

Очевидно, что изменение оптических характеристик зеркал резонатора приводит к модуляции добротности резонатора, которая, в свою очередь, влияет на кинетику генерации лазера. Для изменения добротности резонатора ΔQ с учетом только изменения коэффициента отражения зеркал можно получить следующее выражение:

$$(2) \quad \Delta Q = \frac{1}{2L_p} \ln \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_2 + \Delta R_2)}{R_1 R_2},$$

где L_p – длина резонатора лазера. В случае значительных изменений ΔQ (около 0,01 Q_0 и больше) систему балансных уравнений, описывающих динамику генерации лазера, линеаризовать нельзя. В этом случае лазер эквивалентен нелинейному осциллятору с одной степенью свободы, поведение которого при определенных условиях описывает динамическая бифуркация Хопфа. В [4] показано, что при частоте модуляции добротности около половины частоты релаксационных колебаний лазера последний генерирует незатухающую последовательность пичков с хаотичной флуктуацией интенсивности. В наших экспериментах измеренная величина изменения добротности резонатора и частота модуляции ΔQ удовлетворяют вышеназванным условиям перехода лазера к "хаосу".

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Зеркала резонатора, непосредственно контактирующие с атмосферой, при плотности мощности, реализуемой в режиме свободной генерации в твердотельных лазерах, являются нелинейными элементами, изменяют свои оптические свойства в процессе генерации и, как следствие, определяют хаотическую структуру генерации.

2. Одним из факторов лучевой прочности зеркал является количество и физико-химические свойства молекул, адсорбированных на поверхности и в отражающих слоях покрытия.

Большое фундаментальное и практическое значение полученных результатов требует дальнейших детальных теоретических и экспериментальных исследований.

Институт оптики атмосферы
Сибирского отделения Академии наук СССР
Томск

Поступило
1 VII 1987

ЛИТЕРАТУРА

1. *Годлевский А.П.* – Изв. вузов. Физика, 1977, № 12, с. 1–7.
2. *Бураков С.Д., Годлевский А.П.* Влияние сорбционных эффектов поверхности зеркал резонатора на кинетику генерации лазеров. Томск, 1986, ТФ СО АН СССР, Препринт № 8. 24 с.
3. Физика поверхности: колебательная спектроскопия адсорбатов/Под ред. Р. Уиллиса. М.: Мир, 1984, с. 171–176.
4. *Ivanov D.V. et al.* – Phys. Lett., 1982, vol. A89, № 5, p. 229.

УДК 539.2

ФИЗИКА

Академик Ю.В. ГУЛЯЕВ, В.В. ИВАНОВ,
В.В. АКИНДИНОВ, Э.Г. ЕФРЕМОВА

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЯВЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ–СТЕКЛО–ПЛАЗМА

Проведенные множественные эксперименты по исследованию свойств описанных в [1] устройств позволяют надежно установить, что: 1) необходимым и достаточным условием возникновения колебаний в электрической цепи, содержащей газоразрядный промежуток, является наличие в промежутке спая металла катода со стеклом, поверхность которого подвергается ионной бомбардировке; 2) система металл–стекло–газ обладает способностью сохранять во времени и воспроизводить информацию о частоте, амплитуде и фазе колебаний; 3) колебания тока в плазме – вторичные эффекты; первичные процессы происходят в стекле, изолирующем металл катода от контакта с газом; 4) величина тока, проходящего через стекло, может значительно превосходить ток тлеющего разряда на не изолированную стеклом металлическую часть катода; 5) процессы распыления и испарения проводящих материалов, происходящие в промежутке, на "память" практически не влияют; 6) процессы токопереноса в стекле сопровождаются миграцией в объем стекла элементов, входящих в состав металла катода; 7) со временем колебательные процессы прекращаются и горит стационарный разряд, ток которого равен максимальному току разряда в режиме колебаний; 8) ни при каких условиях переход носителей зарядов из стекла в металл системы металл–стекло не зафиксирован.

Накопленные экспериментальные данные дают возможность с достаточной степенью достоверности выполнить физическую модель явления. В технологических приемах жесткого соединения (спая) металла со стеклом за счет источника тепловой энергии (для дальнейших процессов "стороннего") металл системы покрывается окисной пленкой и затем жестко соединяется со стеклом, в результате чего образуется переходная область (ПО) на границе металла со стеклом. Термоэлектроны, выходя из металла в ПО, захватываются частицами вещества (эффекты типа