

ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА В ПЛАЗМЕ ОПТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ВОЗДУХЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

И.А. Буфетов, В.Б. Федоров, В.К. Фомин

УДК 537.527

Определена зависимость от температуры спектрального и интегрального по спектру генерации неодимового лазера коэффициентов поглощения излучения в плазме оптического разряда в атмосферном воздухе.

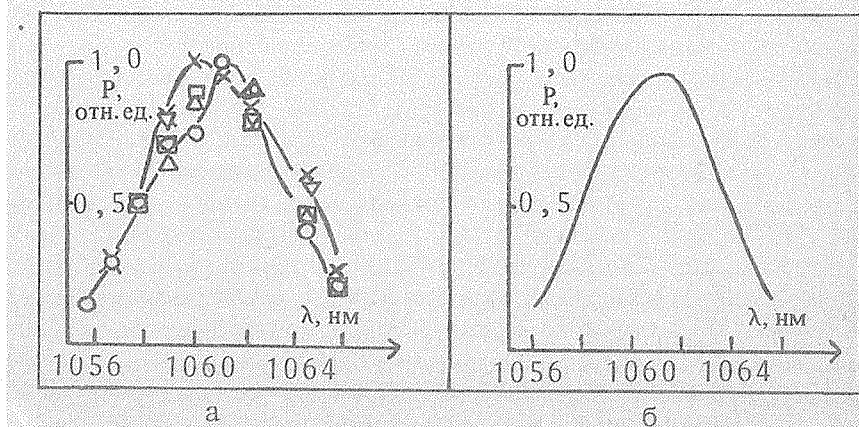
При описании оптических разрядов в режиме медленного горения важнейшим параметром является коэффициент поглощения излучения лазера в плазме α , определяющий энергозатраты в плазму и, следовательно, порог существования разряда по интенсивности, скорость распространения разряда по лучу лазера и температуру плазмы. Применение при исследовании оптических разрядов лазеров на стекле с неодимом (длина волны генерации $\lambda = 1,06$ мкм) в силу их высоких энергетических возможностей обеспечивает наиболее простые, с точки зрения интерпретации, условия эксперимента и позволяет получить ряд новых важных результатов [1].

При характерных параметрах плазмы оптического разряда, поддерживаемого излучением неодимового лазера с интенсивностью 10^6 Вт/см² в атмосферном воздухе (температура $1 \div 2$ эВ, давление 1 атм), поглощение лазерного излучения определяется (по данным [2]) в основном поглощением при переходах между высоковозбужденными уровнями атомарного азота $2p^2 3p' - 2p^2 (1D) 3d'$ в мультиплете ${}^2F \cdot {}^2G$ со средневзвешенной длиной волны $\lambda = 1059,5$ нм [3]. Необходимо учитывать также поглощение в мультиплетах ${}^4P^0 \cdot {}^4D$ ($\lambda = 1052,5$ нм) и ${}^4P^0 \cdot {}^4P$ ($\lambda = 1071$ нм) перехода $2p^2 3p - 2p^2 ({}^3P) 3d$ и слабо зависящее от λ поглощение в континууме, связанное с фотоионизацией возбужденных атомов и свободно-свободными переходами электронов. Спектральный коэффициент поглощения α_λ является, таким образом, суммой коэффициентов поглощения в линейчатом спектре α_λ^l и континууме α_λ^k . Резонансный характер поглощения требует как расчета зависимости коэффициента поглощения α_λ от длины волны, так и определения спектра генерации лазера.

В данной работе измерялся спектр генерации лазера, использовавшегося в ряде опытов (см. ссылки в /1/) для поддержания оптических разрядов. Лазер состоит из многомодового задающего генератора с устойчивым, близким к полуконфокальному резонатором и активным элементом из стекла ГЛС-1 (диаметр 30 мм, длина 320 мм) в осветителе ГОС-300 и одноканального четырехкаскадного усилителя с активными элементами из стекла ГЛС-1 в осветителях ГОС-1000. Длительность импульса генерации ~ 5 мс.

Измерения проводились при уровне выходной энергии лазера 3 ± 6 кДж.

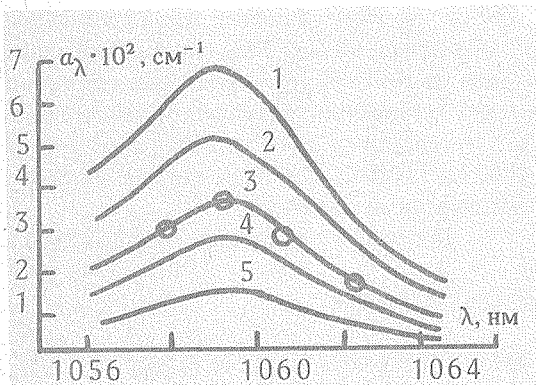
Для исследования спектрального состава излучения генерации лазера и измерения коэффициента поглощения плазмы разряда использовалась следующая диагностическая схема. Часть излучения лазера (4%) из сечения за область поддержания исследуемого разряда отводилась на входное окно рассеивателя, состоящего из двух матовых стеклянных пластин и промежуточной диафрагмы. Часть излучения с рассеивателя направлялась с помощью световода на входную щель монохроматора МДР-2. Установленный у выходной щели монохроматора фотоумножитель ФЭУ-28 регистрировал излучение в спектральном интервале 3 \AA . Параллельно с регистрацией излучения в узком спектральном интервале измерялся интегральный по спектру сигнал с помощью фотодиода ФД-24 К. Спектр генерации лазера снимался по сигналу с фотоумножителя в тех опытах, когда плазма оптического разряда в лазерном луче не возникала (не производилось инициирование разряда вспомогательным лазерным пробоем). При инициировании плазмы измерялись



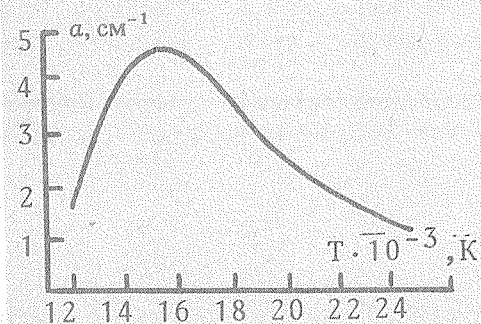
Р и с. 1: а) спектр генерации лазера. Время от начала генерации t : о – 1,0 мс, Δ – 1,5 мс, ∇ – 2,0 мс, \square – 2,5 мс, \times – 3,5 мс; б) усредненный спектр генерации для $t > 1,5$ мс.

спектральный a_λ и интегральный a коэффициенты поглощения. Длина плазмы, на которой происходило поглощение, определялась из одновременно снимаемых с помощью СФР фоторазверток процесса.

Спектры генерации лазера с разрешением по времени приведены на рис. 1а. Спектр генерации мало меняется после первых полутора миллисекунд с начала генерации и может быть с хорошей точностью приближен спектром, показанным на рис. 1б. Все измеренные в опытах параметры разряда и плазмы относятся именно к этой ($t > 1,5$ мс) части импульса генерации, поскольку первые 1,5 мс импульса "тратятся" на инициирование, подхватывание оптического разряда и выход его параметров в стационарную стадию [1]. Усредненный спектр (рис. 1б) был использован в расчетах коэффициента поглощения a .



Р и с. 2. Спектральный коэффициент поглощения атмосферного воздуха, давление 1 атм. Точки — эксперимент, сплошные линии — расчет. Температура плазмы: 1 — 16000 К; 2 — 18000 К; 3 — 20000 К; 4 — 22000 К; 5 — 25000 К.



Р и с. 3. Коэффициент поглощения излучения Nd лазера атмосферным воздухом, давление 1 атм.

Расчетная зависимость коэффициента поглощения $a_{\lambda}^l(\lambda, T)$ для температур плазмы $T \leq 20000$ К получена исходя из данных, имеющихя в /2/. Для $20000 \leq T \leq 25000$ К коэффициенты $a_{\lambda}^l(\lambda, T)$ рассчитаны по той же методике, что и в /2/. Необходимые для расчетов равновесный состав плазмы и статсуммы азота взяты из /3/. Поглощение в континууме a_{λ}^k , рассчитанное по формуле Крамерса – Унзольда, исправленной на вынужденное испускание, взято из /4/. Результаты расчетов коэффициента a_{λ} показаны на рис. 2. Здесь же приведены результаты измерений спектрального коэффициента поглощения a_{λ} при интенсивности лазерного излучения $\sim 2 \cdot 10^6$ Вт/см². Экспериментальные точки хорошо ложатся на расчетную зависимость при $T = 2 \cdot 10^4$ К. Зависимость интегрального коэффициента поглощения от температуры представлена на рис. 3. Данная зависимость может служить для точного расчета энергобаланса плазмы оптического разряда в атмосферном воздухе. Сравнение измеренных и приведенных на рис. 3 значений коэффициентов поглощения a позволяет определить температуру плазмы разряда в условиях наших опытов. При изменении интенсивности лазерного излучения от $4 \cdot 10^5$ до $8 \cdot 10^6$ Вт/см² величина a менялась от $4,5 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-2} см⁻¹, что соответствует температурам от 16000 до 25000 К. Эти значения хорошо согласуются с измеренными спектроскопическими методами /5/.

Поступила в редакцию 5 ноября 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буфетов И.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ. 46, 1141 (1982).
2. Авиллова И.В. и др. Оптические свойства горячего воздуха. М., Наука, 1970.
3. Ковальская Г.А., Севастьяненко В.Г. В сб. научн. трудов ИТПМ СО АН СССР, вып. 4, Физическая кинетика, Новосибирск, 1974.
4. Райзер Ю.П. Лазерная искра и распространение разрядов. М., Наука, 1974.
5. Буфетов И.А. и др. VI Всесоюзное совещание по нерезонансному взаимодействию оптического излучения с веществом. Тезисы докладов, изд. ГОИ, Л., 1984, с.337.