

ВЛИЯНИЕ ДЕЙТЕРИЯ НА РАБОТУ ТЕА ЛАЗЕРА НА  $\text{CO}_2$ 

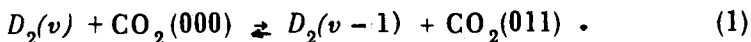
Х.Альбрехт, В.А.Беспалов, В.Т.Платоченко

Описаны эксперименты, показавшие, что добавки дейтерия существенно улучшают характеристики рабочих смесей в лазере на  $\text{CO}_2$ . При использовании смесей, содержащих азот, добавление дейтерия позволило увеличить выходную энергию лазера на 22%. В случае смесей, не содержащих азота, замена гелия дейтерием приводит к увеличению выходной энергии в 3 - 4 раза при незначительном изменении длительности импульса.

Как известно [1], для эффективного возбуждения колебаний молекул в разряде ТЕА лазера на  $\text{CO}_2$ , необходима реализация оптимального распределения электронов по энергиям. В связи с тем, что максимум сечения возбуждения колебаний азота электронным ударом лежит в области малых энергий, оптимальные напряженности поля в разряде относительно низки, что обуславливает необходимость использования несамостоятельного разряда для такой оптимизации и практически ограничивает мощность вводимую в разряд.

Для получения коротких мощных импульсов излучения нам представляется целесообразным использование систем с самостоятельным разрядом. При этом имеются некоторые возможности улучшения параметров разряда за счет введения примесей, снижающих температуру разряда, или утилизирующих энергию относительно "горячих" электронов.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование влияния дейтерия на работу ТЕА лазера на  $\text{CO}_2$  с самостоятельным разрядом. Это влияние может быть обусловлено рядом причин. Во-первых, дейтерий способствует получению более "мягкого" разряда. Во-вторых, дейтерий должен "охлаждать" электронный газ за счет возбуждения колебательных и вращательных уровней и тем самым приводить к лучшему согласованию функции распределения электронов по энергиям с сечением возбуждения колебаний азота и  $\text{CO}_2$ . Наконец, колебательно возбужденный дейтерий может передавать энергию молекулам  $\text{CO}_2$  в реакциях типа



По-видимому (мы исходим из аналогии с водородом [2]), сечение возбуждения колебаний дейтерия электронным ударом не мало в области энергий превышающих 3 эв, поэтому конкуренция между дейтерием и азотом не должна иметь места. Отрицательная роль дейтерия в лазерной смеси может быть связана, например, с дезактивацией антисимметричных колебаний  $\text{CO}_2$ .

Экспериментальные исследования проводились на установке ТЕА лазера с предионизацией слаботочным пучком электронов с энергией око-

ло 100 кэв. Для питания основного разряда использовалась либо накопительная батарея  $C = 120 \text{ нф}$  с формирующей емкостью  $C = 10 \text{ нф}$ , заряжаемая до напряжения 25 кэв; либо схема удвоения Блюмлайна, обе ступени которой ( $C = 80 \text{ нф}$ ) заряжались до напряжения 25 кэв.

Все эксперименты проводились при рабочем давлении 1 атм, высоте разрядного промежутка 2,2 см, и объеме  $80 \text{ см}^3$

Излучение выводилось из кюветы через окна из  $\text{BaF}_2$ , установленные под углом Брюстера. Резонатор длиной 1,5 м состоял из глухого зеркала с радиусом кривизны 6 м и плоского поупрозрачного зеркала с коэффициентом отражения 70%.

Для измерения выходной энергии лазера использовался калориметр ТПИ-2; для исследования временных характеристик — фотоспротивление из Ge: Au, охлаждаемое жидким азотом, и осциллограф С1-17. Рис. 1 иллюстрирует изменение выходной энергии лазера на смеси  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 10 : 10 : 80$  при частичной замене гелия водородом, дейтерием и азотом. Для питания использовалась схема с формирующей емкостью, обеспечивающей токовый импульс длительностью  $\sim 1 \text{ мксек}$ . Примесь водорода при фиксированном напряжении не приводит к увеличению выходной энергии (кривая *a*). Добавление же дейтерия (кривая *б*) увеличивает выходную энергию приблизительно на 25%. Заметим, что наблюдаемый загиб кривой *б* может быть вызван наличием водорода в исходном дейтерии (около 10% водорода).

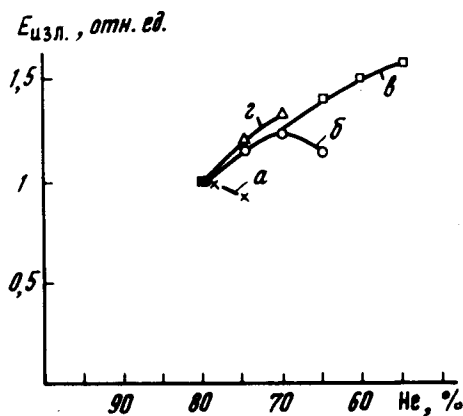


Рис. 1. Зависимость выходной энергии лазера от состава смеси: *a* —  $P_{\text{CO}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ,  $P_{\text{N}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ,  $P_{\text{H}_2} + P_{\text{He}} = 0,8 \text{ атм}$ ; *б* —  $P_{\text{CO}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ;  $P_{\text{N}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ;  $P_{\text{D}_2} + P_{\text{He}} = 0,8 \text{ атм}$ ; *в* —  $P_{\text{CO}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ;  $P_{\text{D}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ;  $P_{\text{N}_2} + P_{\text{He}} = 0,8 \text{ атм}$ ; *г* —  $P_{\text{CO}_2} = 0,1 \text{ атм}$ ;  $P_{\text{N}_2} + P_{\text{He}} = 0,9 \text{ атм}$ .

Как и водород [3, 4], дейтерий улучшает структуру разряда и позволяет получать бездуговой разряд в более богатых азотом смесях и тем самым получать более высокие выходные энергии. Кривые *в* и *г* на рис. 1 иллюстрируют возможность увеличения концентрации азота и выходной энергии при наличии и в отсутствие дейтерия в смеси. Использование смеси  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{D}_2 : \text{He} = 10 : 25 : 10 : 35$  позволило увеличить выходную энергию по сравнению с оптимальной тройной смесью  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 10 : 25 : 70$  от 3,7 до 4,5 дж (от 46 до 56 дж/литр атм).

Гораздо более сильное влияние на выходную энергию лазера дейтерий оказывает при использовании смесей не содержащих азота. На рисунке 2 показана зависимость выходной энергии лазера от concentra-

ции дейтерия в рабочей смеси. (Для питания использовалась схема Блумлайна, длительность токового импульса  $\sim 0,3$  мксек). Интересно, что максимальные энергии получены на смесях не содержащих гелия (при концентрации  $\text{CO}_2$  более 25%, небольшие примеси гелия оказывают положительное влияние). Максимальная энергия, полученная на двойной смеси  $\text{CO}_2 : \text{D}_2 = 1 : 9$ , составляла около 1,3 дж (16 дж/литратм) и в четыре раза превышает энергию, полученную на оптимальной двойной смеси  $\text{CO}_2$  с гелием ( $\text{CO}_2 : \text{He} = 1 : 4$ ).

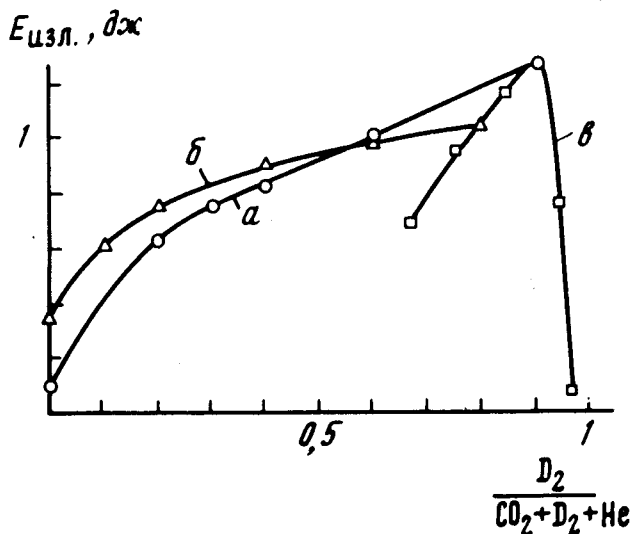


Рис. 2. Зависимость выходной энергии лазера от состава смеси: а —  $P_{\text{CO}_2} = 0,1$  атм;  $P_{\text{He}} + P_{\text{D}_2} = 0,9$  атм; б —  $P_{\text{CO}_2} = 0,2$  атм;  $P_{\text{He}} + P_{\text{D}_2} = 0,8$  атм; в —  $P_{\text{CO}_2} + P_{\text{D}_2} = 1$  атм;  $P_{\text{He}} = 0$

Излучение генерируется в виде импульса приблизительно треугольной формы. Длительность переднего фронта менее 100 нсек. Длительность импульса при изменении относительных концентраций  $\text{CO}_2 : \text{D}_2$  от 5 : 95 до 25 : 75 меняется приблизительно обратно пропорционально концентрации  $\text{CO}_2$  от 0,5 мксек до 0,1 мксек. Предполагая, что длительность заднего фронта генерируемого импульса определяется скоростью реакции (1), можно оценить эту скорость ( $\sim 4 \cdot 10^7$  сек $^{-1}$  атм $^{-1}$ ).

Использование смесей богатых дейтерием может оказаться особенно полезным для генерации или усиления импульсов наносекундного диапазона. Преимущества дейтерия по сравнению с азотом при этом обусловлены тем, что вследствие большой разницы в энергии колебательных квантов  $\text{D}_2$  и  $\text{CO}_2$  практически вся колебательная энергия дейтерия может быть передана  $\text{CO}_2$  до начала генерации или до прихода усиливаемого импульса. Азот же эффективно подпитывает антисимметричные колебания  $\text{CO}_2$  лишь до установления равных населенностей колебательных уровней  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ .

Московский  
государственный университет  
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию  
10 декабря 1974 г.

## Литература

- [1] Н.Г.Басов и др. ЖЭТФ, **64**, 108, 1973.
  - [2] G. J. Schulz. Phys. Rev., **135**, №4A, A988, 1964.
  - [3] А.М.Оришич, А.Г.Пономаренко, Р.Н.Солоухин. ДАН СССР, **212**, 1099, 1973.
  - [4] T. F. Deutsch. Appl. Phys. Lett., **20**, 315, 1972.
-