



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. П. Аверин, Н. Г. Басов, Е. П. Гло-
тов, В. А. Данилычев, О. М. Керимов,
М. М. Малыш, А. М. Сорока, В. Е. Це-
пелев, Н. В. Чебуркин, Повышение энер-
гетических характеристик и ресурса ра-
боты непрерывных технологических СО₂-
ЭИЛ за счет использования пятикомпо-
нентных лазерных смесей, *Письма в ЖТФ*,
1983, том 9, выпуск 20, 1224–1228

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

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

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.91

28 марта 2025 г., 13:04:20



- [8] V. Ya. P r i n z, S.N. R e c h k u n o v. Phys. Stat. Sol. (b), 118, 79 (1983).
- [9] J.R. M o r a n t e, J.E. C a r c e l l e r, J. B a r b o l l a, P. C a r t u j o. J. Phys. C: Solid State Phys., 15, L175 (1982).
- [10] Yu. B. B o l k h o v i t y a n o v, R.I. B o l k h o v i t y a n o v a, E.H. H a i r i, S.I. C h i k i - c h e v, V.I. Y u d a e v. Crystal Res. Technol., 17, 1491 (1982).
- [11] Е.Х. Х а й р и, Ю.Б. Б о л х о в и т я н о в, С.И. Ч и - к и ч е в, В.А. К а л у х о в. В сб.: 5-ое Всес. сов. по иссл. арсенида галлия, Томск, с. 114 (1982).
- [12] Ю.Б. Б о л х о в и т я н о в, Р.И. Б о л х о в и т я н о - в а, С.А. С т р о и т е л е в, С.И. Ч и к и ч е в. В сб.: Рост и легирование полупроводниковых кристаллов и пленок, ч. II, с. 253, Новосибирск, „Наука“ (1977).
- [13] K.-H. Z s c h a u e r. In: Festkörperprobleme, v. 15, 1 (1975).
- [14] С.И. Ч и к и ч е в. В сб.: 4-ое Всес. сов. по иссл. арсенида галлия, с. 43, Томск (1978).

Институт физики
полупроводников СО АН СССР,
Новосибирск

Поступило в Редакцию
28 июня 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 9, вып. 20

26 октября 1983 г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
И РЕСУРСА РАБОТЫ НЕПРЕРЫВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СО₂-ЭИЛ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ПЯТИКОМПОНЕНТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СМЕСЕЙ

А.П. А в е р и н, Н.Г. Б а с о в,
Е.П. Г л о т о в, В.А. Д а н и л ы ч е в,
О.М. К е р и м о в, М.М. М а л ы ш,
А.М. С о р о к а, В.Е. Ц е п е л е в,
Н.В. Ч е б у р к и н

Одним из основных требований, предъявляемых к технологическим лазерам, является устойчивая стабильная работа установок в течение длительного времени без замены лазерной смеси.

В работе [1] экспериментально показана возможность значительного снижения скорости деградации лазерной смеси за счет использования регенератора, позволяющего застабилизировать генерацию на уровне половинной начальной мощности. В [2] был предложен и экспериментально исследован другой способ стабилизации энергетических характеристик лазера - адсорбция образующихся в ЭИ разряде

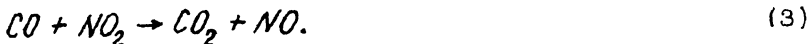
окислов азота на силикагеле. В этом случае удается поддерживать мощность генерации на уровне, близком к начальному. В связи с тем, что не удается полностью адсорбировать молекулы окислов азота, для компенсации роста скорости прилипания электронов и релаксационных потерь в процессе работы приходится увеличивать плотность тока электронного пучка. При этом время непрерывной работы лазера определяется временем достижения предельной плотности тока электронного пучка и составляет $1.5\div 2$ часа [2]. Для увеличения времени непрерывной работы установки без замены лазерной смеси необходимо использование таких компонент, которые позволяют увеличить разрядный ток при фиксированном токе электронного пучка без увеличения скорости релаксации верхнего лазерного уровня и снижения пробойного напряжения. Увеличение разрядного тока может быть достигнуто за счет повышения скорости рождения электрон-ионных пар при использовании тяжелых благородных газов (частичная замена гелия аргоном) [3]. Отметим, что полная замена гелия аргоном приводит к некоторому снижению КПД за счет малой скорости расселения атомами аргона нижнего лазерного уровня. При частичной замене аргона гелием КПД-генерации возрастает, т.к. скорость расселения нижнего лазерного уровня в присутствии гелия остается достаточно высокой, а скорость релаксации верхнего лазерного уровня атомами Ar значительно ниже, чем He [4].

Другим способом повышения проводимости является введение в состав лазерной смеси газов, способных разрушать отрицательные ионы.

В работах [5, 6] было показано, что добавка молекул CO может привести к эффективному отлипанию электронов от отрицательных ионов O^- в реакции



при концентрации монооксида углерода, сравнимой с содержанием CO_2 , т.к. константа скорости образования кластера CO_3 весьма высока, а отлипания электронов от него в столкновениях с CO не происходит. Отметим, что достаточно большое содержание CO в лазерной смеси приводит к снижению скорости деградации лазерной смеси за счет реакций „саморегенерации“ [7]:



Таким образом, весьма перспективными для технологических CO_2 ЭИЛ являются пятикомпонентные смеси $CO_2 : CO : N_2 : He : Ar$, оптимизация состава которых проводится в данной работе.

Эксперименты проводились на универсальном электроионизационном CO_2 -лазере, описанном в работе [8].

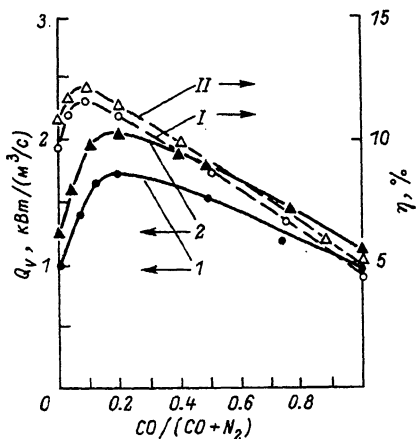
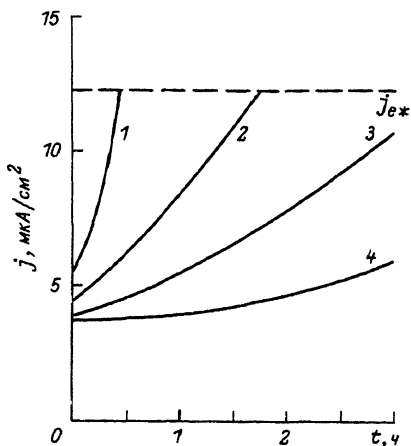


Рис. 1. Зависимость физического КПД η (кривые I, II) и удельного объемного энергосъема Q_v (1, 2) от концентрации CO для четырехкомпонентной $CO_2 : (CO+N_2) : He = 1 : 10 : 9$ (I, 1) и пятикомпонентной $CO_2 : (CO+N_2) : Ar : He = 1 : 10 : 5 : 4$ (II, 2) смесей ($p = 75$ тор, $j_e = 10$ мкА/см²).

На рис. 1 показаны зависимости максимального удельного энергосъема от содержания CO в лазерных смесях $CO_2 : (CO+N_2) : He$ 1 : 10 : 9 (кривые 1 и I) и $CO_2 : (CO+N_2) : Ar : He$ 1 : 10 : 5 : 4 (2, II) при давлении $p=75$ тор. Важно отметить первоначальный рост физического КПД при увеличении процентного содержания CO. Это обусловлено повышением эффективности накачки, поскольку низкоэнергетичные ($\mathcal{E} \lesssim 1$ эВ) электроны, неспособные возбуждать колебания азота, эффективно возбуждают молекулы монооксида углерода, что одновременно приводит к уменьшению доли энергии, идущей на возбуждение системы нижних лазерных уровней молекул CO_2 . При дальнейшем увеличении концентрации CO КПД начинает падать, т.к. энергия, получаемая вследствие электронных ударов нижними колебательными уровнями молекул CO, эффективно передается за счет $\nu-\nu$ обмена на высоколежащие уровни, где диссипирует, в основном, за счет спонтанного излучения. Видно, что частичная замена He аргоном приводит к повышению КПД. Это, как отмечалось выше, связано с уменьшением мощности релаксационных потерь. Максимальное значение КПД реализуется при содержании CO в смеси $\sim 5\%$ как без аргона ($\eta \sim 11\%$), так и в его присутствии ($\eta \sim 13\%$). Максимальные значения энергосъемов достигаются при значительно большем содержании монооксида углерода в смеси ($\sim 7 \div 15\%$). Это связано с повышением мощности накачки по мере роста концентрации CO за счет эффективного процесса отщипывания (реакция (1)). Энергосъем для пятикомпонентной смеси значительно выше, чем для четырехкомпонентной, что также обусловлено увеличением энерговклада за счет более эффективного использования электронного пучка [3]. Отметим, что использование пятикомпонентной смеси позволяет повысить энергосъем на $30 \div 50\%$ как по сравнению со смесью без аргона, так и по сравнению со смесью без монооксида углерода.

Рис. 2. Эволюция плотности тока пучка, обеспечивающего работу CO_2 -НЭИЛ с номинальной мощностью 10 кВт для смесей $\text{CO}_2 : \text{CO} : \text{N}_2 : \text{Ar} : \text{He} = 1 : 0 : 10 : 5 : 4$ (кривая 1), $1 : 0 : 25 : 9 : 75 : 5 : 4$ (2), $1 : 1 : 9 : 5 : 4$ (3) и $1 : 5 : 5 : 5 : 4$ (4). Пунктирная прямая соответствует предельной плотности тока пучка, определяемой перегревом разделительной фольги электронной пушки.



На рис. 2 представлены зависимости от времени плотности тока электронного пучка (в плоскости анода разрядной камеры), обеспечивающей работу CO_2 -НЭИЛ на номинальном уровне мощности 10 кВт для различных содержаний CO в смеси ($\text{CO}_2 : \text{CO} : \text{N}_2 : \text{Ar} : \text{He} = 1 : 0 : 10 : 5 : 4$ (1), $1 : 0 : 25 : 9 : 75 : 5 : 4$ (2), $1 : 1 : 9 : 5 : 4$ (3) и $1 : 5 : 5 : 5 : 4$ (4)). Видно, что ресурс работы лазерной смеси без монооксида углерода не превосходит полчаса (предельная плотность тока пучка определяется перегревом разделительной фольги электронной пушки). При концентрации $[\text{CO}] = [\text{CO}_2] = 5\%$ в пятикомпонентной смеси возможна непрерывная работа установки в течение 3 часов (при этом необходимо увеличивать плотность тока электронного пучка более чем в $2 \div 2,5$ раза). При полной замене азота на CO стабильная работа CO_2 -НЭИЛ в течение 3 часов достигается относительно небольшим (менее чем в 1.2 раза) увеличением плотности тока пучка. Однако для такой смеси весьма низок физический КПД $\sim 5\%$ (рис. 1), что делает ее неперспективной для технологических CO_2 -ЭИЛ.

Отметим, что исследования влияния состава пятикомпонентной смеси на энергетические характеристики и ресурс работы CO_2 -НЭИЛ в данных экспериментах проводились без силикагеля. Его использование в последующих экспериментах привело к дальнейшему снижению скорости деградации лазерной смеси и, соответственно, увеличению ресурса работы лазера.

Таким образом, использование пятикомпонентных лазерных смесей $\text{CO}_2 : \text{CO} : \text{N}_2 : \text{Ar} : \text{He}$ с концентрациями $[\text{CO}] \approx [\text{CO}_2]$ и $[\text{Ar}] \gg [\text{He}]$ позволяет реализовать CO_2 -ЭИЛ с физическим КПД $\eta \approx 13\%$, удельным объемным энергопотреблением $q_v \approx 2$ кВт/м³/с при непрерывной работе в несколько часов, что значительно выше достигнутых в настоящее время параметров на традиционных трехкомпонентных ($\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$) лазерных смесях.

- [1] Н.Г. Б а с о в, И.К. Б а б а е в, В.А. Д а н и л ы ч е в и др. Квантовая электроника, 6, 772 (1979).
- [2] А.П. А в е р и н, Н.Г. Б а с о в, Е.П. Г л о т о в и др. Квантовая электроника, 10 (1983).
- [3] А.П. А в е р и н, Н.Г. Б а с о в, Е.П. Г л о т о в и др. Квантовая электроника, 8, 2063 (1981).
- [4] J.D. A n d e r s o n. AIAA Journal, 12, 1699 (1974).
- [5] W.L. N i g h a n, W.J. W i g a n d. Phys. Rev., A10, 922 (1974).
- [6] А.Ф. В и т ш а с, Е.П. Г л о т о в, В.А. Д а н и л ы ч е в и др. Препринт ФИАН № 192 (1979).
- [7] А.П. А в е р и н, Н.Г. Б а с о в, Е.П. Г л о т о в и др. Письма в ЖТФ, 7, 769 (1981).
- [8] Н.Г. Б а с о в, Е.П. Г л о т о в, В.А. Д а н и л ы ч е в, А.М. С о р о к а, В.И. Ю г о в. 4th International Conference on Lasers and their Applications, Leipzig, GDR (1981).

Физический институт
им. П.Н. Лебедева
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
21 июля 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 9, вып. 20

26 октября 1983 г.

КОЛЕБАНИЯ В ПЛАЗМЕННОЙ ЛИНЗЕ
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОКУСИРУЕМЫЙ ИОННЫЙ ПУЧОК

И.С. Г а с а н о в, И.М. П р о ц е н к о

Предметом выполненных к настоящему времени теоретических и экспериментальных работ по плазменным линзам [1-5], как правило, являлись их статические характеристики. В данной работе впервые проведено исследование неустойчивостей в плазменной линзе и выяснено их действие на проходящий через систему интенсивный ионный пучок.

Как было установлено в [3], среда в линзе представляет собой нескомпенсированную плазму с избытком электронного объемного заряда. Известно [6], что радиальное электрическое поле \vec{E} и скрещенное с ним магнитное поле \vec{H} могут приводить к развитию неустойчивостей заряженной плазмы. В частности, вращающееся в $\vec{E} \perp \vec{H}$ полях электронное облако с немонотонным радиальным профилем плотности неустойчиво по отношению к развитию диокотронных колебаний с частотой, близкой к величине