

СВЕТОВОЕ ИНДУЦИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОГО РАЗРЯДА

*Ю.В.Ткач, Я.Б.Файнберг, Л.И.Болотин, Я.Я.Бессараб,
Н.П.Гадецкий, В.Н.Черненко, А.К.Березин*

Как известно, большинство существующих газовых лазеров основано на использовании различных типов разрядов относительно высоким давлениям (10^{-1} – 10 мм рт.ст.) и соответственно невысокой электронной температурой ($T_e = 5 + 6 эв$). Электронная температура в импульс-

ных лазерах, использующих быстрый пинч [1] достигает значений $T_e \sim 20 \text{ эв}$, и при этом удается существенно повысить интенсивность излучения. Для дальнейшего повышения эффективности возбуждения ионных линий с большим потенциалом возбуждения необходимо существенно повысить электронную температуру так, чтобы энергия электронов плазмы была близка к максимуму функции возбуждения, т.е. составляла приблизительно 50-100 эв. Для получения когерентного излучения в ультра-

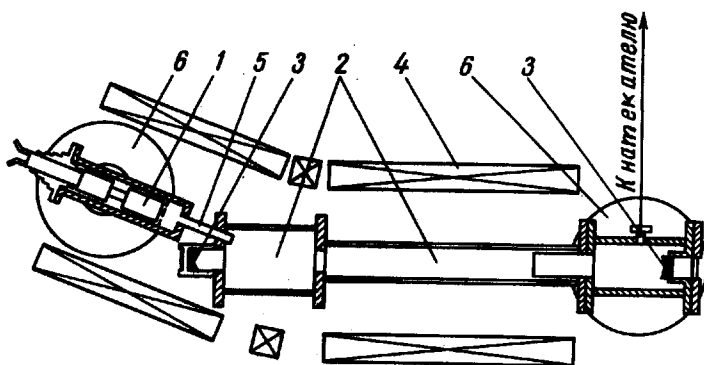


Рис.1. Схема установки: 1 – электронная пушка; 2 – плазменная камера; 3 – зеркало; 4 – соленоид; 5 – трубка перепада; 6 – диффузные насосы; 7 – система для напуска газа

фиолетовой области необходимо, чтобы высокая электронная температура имела место в разрядах с низким давлением. Обоим этим требованиям (высокой температуре при низком давлении) в значительной степени удовлетворяет плазменно-пучковый разряд, исследованию которого в последнее время посвящено большое количество как теоретических, так и экспериментальных работ [2,3]. В этом разряде ионизация и возбуждение атомов и ионов газа осуществляется электронами плазмы, энергия которых сильно возрастает благодаря коллективному взаимодействию пучка электронов с плазмой, приводящему к интенсивному возбуждению высокочастотных колебаний, в поле которых электроны плазмы и приобретают энергию.

В рассматриваемом случае пробой достигается при значительно меньших давлениях, чем в обычных разрядах, а электронная температура плазмы значительно превосходит температуру в других разрядах, достигая значений в десятки и сотни килоэлектронвольт. Плазменно-пучковый разряд представляет собой сильно неравновесную систему. Кроме того, в рассматриваемом разряде ионная температура может быть повышена до нескольких сотен электронвольт, что может быть использовано для расширения диапазона генерируемых частот. Все эти особенности плазменно-пучкового разряда привели к мысли о возможности его использования для создания газового лазера. Конечно, возбуждение линий можно было бы осуществить с помощью моноэнергетичных электронных пучков, однако очевидно, что возбуждение электронами плазмы будет значительно эффективнее, так как плотности, достигаемые в электронных пучках, намного меньше, чем в плазме.

Целью настоящей работы является экспериментальное подтверждение возможности получения индуцированного излучения в плазменно-пучковом разряде. В данном сообщении приводятся результаты исследований индуцированного излучения в видимой области.

Эксперименты по получению когерентного излучения проводились на установке, изображенной на рис.1. Электронная пушка 1, работающая в импульсном режиме с длительностью импульса $\tau = 40$ мксек, инжекти-

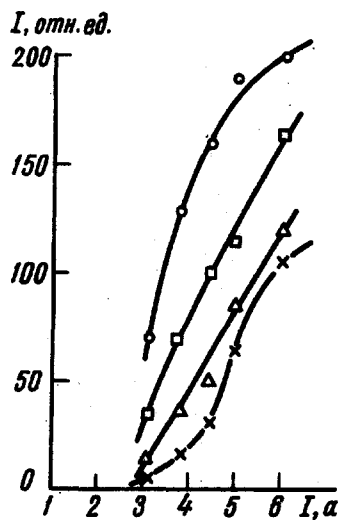


Рис.2. Зависимость интенсивности когерентного излучения (в относительных единицах) от тока пучка (в амперах)

ровала электронный пучок с энергией $U = 10 + 45$ кэв и током $I \sim 10-30$ а в плазменную камеру 2 под углом в 15° к оси камеры. Частота следования импульсов могла меняться от 1 до 50 μ с. Инжекция высокоэнергетичного электронного пучка в камеру под углом применялась для защиты поверхности зеркал от ионной и электронной бомбардировки. Внутри плазменной камеры помещался конфокальный резонатор, образованный сферическими зеркалами 3 с многослойными диэлектрическими покрытиями. Радиус кривизны зеркал $R = 10$ м, пропускание $T = 2\%$ в области 4800 ± 5300 Å и $T = 3\%$ в области 4700 ± 5700 Å. Пушка и плазменная камера размещались внутри соленоида 4, на оси которого создавалось однородное магнитное поле напряженностью $1,5 \pm 2$ кэ. Рабочее давление внутри камеры пушки 5 было $10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. в то время, как давление в плазменной камере могло меняться в пределах $10^{-2} + 10^{-5}$ мм рт.ст. Такой перепад давлений между камерами достигался применением дифференциальной откачки. В качестве рабочего газа использовался технический аргон.

Электронная плотность плазмы измерялась методом отсечки микроволнового сигнала и достигала значений 10^{12} см^{-3} . Электронная температура измерялась спектральным методом по относительной интенсивности линий He 4713, 4922 и 5047 Å и достигала величины $T_e \sim 90 \text{ эв}$. Ионная температура была измерена с помощью спектрографа ИСП-51, скрещенного с интерферометром, и равнялась $T_i \sim 1 \text{ эв}$.

На описанной установке была получена генерация в видимой сине-зеленой области на линиях однократно ионизованного аргона 4545, 4579, 4609, 4658, 4880, 4965, 5017, 5145 Å. Измеренная расходимость светового луча не превышала 40". Параметры плазмы – электронная и ионная температура, плотность регулировались изменением параметров пучка (тока, энергии) и давлением в плазменной камере.

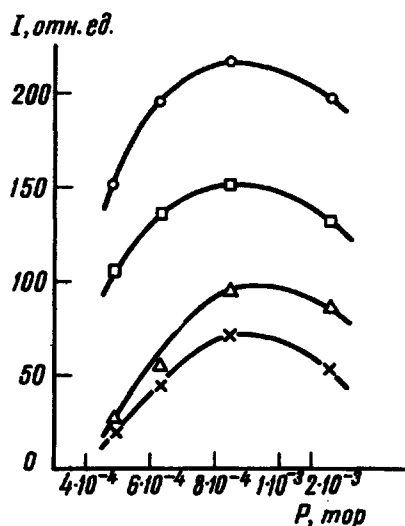


Рис.3. Зависимость интенсивности когерентного излучения (в относительных единицах) от давления

Зависимость интенсивности излучения от тока пучка и давления в плазменной камере приведены на рис.2 и 3 соответственно. Максимум интенсивности когерентного излучения при давлении $8 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт.ст.}$ (рис.3) совпадает с максимумом интенсивности высокочастотных колебаний, возбуждающихся при коллективном взаимодействии пучка электронов с плазмой, и с максимумом электронной и ионной температуры. Эта корреляция объясняется тем, что повышение электронной и ионной температур обусловлено электрическими полями, возбуждаемыми в результате развития неустойчивостей. Оптимальное

значение напряженности магнитного поля на оси плазменной камеры равнялось $1,5 \text{ кэ}$. Длительность импульса генерации на линии 4880 \AA $\tau = 30 \text{ нсек}$ и мощность в импульсе достигала 100 см . Следует отметить, что генерация была получена в трубках диаметром 20 мм и при переходе к большим диаметрам, вплоть до 85 мм , мощность генерации существенно не менялась.

Дальнейшие работы предусматривают повышение мощности генерации, расширение диапазона генерируемых линий и детальное исследование механизма инвертирования в плазменно-пучковом разряде.

Физико-технический институт
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
13 октября 1967 г.

Литература

- [1] С.Г.Кулагин, В.М.Лихачев, Е.В.Маркузов, М.С.Рабинович, В.М.Сутковский. Письма ЖЭТФ, 3, 12, 1966.
- [2] Я.Б.Файнберг. Атомная энергия, 6, 431, 1959; 11, 313, 1961.
- [3] А.К.Березин, Г.П.Березина, Л.И.Болотин, Ю.М.Ляпкало, Я.Б.Файнберг. Сб. Физика плазмы и проблемы управляемого синтеза, вып.3, Изд-во АН УССР, 1963, стр.125.

О ФОТОЭФФЕКТЕ НА ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ЗАРЯДАХ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ

И.А.Фомин

Недавно опубликованы результаты экспериментов по наблюдению фотоэффекта на отрицательных зарядах в жидком гелии [1]. Кривая зависимости фототока от длины волны падающего света λ представляет собой ряд чередующихся максимумов и минимумов, их положения на экспериментальной кривой согласуются с теоретическим расчетом для электрона в сферически симметричной прямоугольной яме, глубина которой $V_0 = 1,02 \text{ эв}$, а радиус a между $21,0$ и $21,4 \text{ \AA}$. Одна-