

Исследование распределения электрического поля и интенсивности свечения вдоль и поперек разрядной трубки He-Ne лазера с ПСВЧР

Иманкулов З.И. - ЖАГУ

Для проведения экспериментов на He-Ne плазме нами были выбраны схемы автогенераторов с общими эмиттерами с разомкнутыми четвертьволновыми полосковыми линиями [1]. Ниже мы рассмотрим эффективное согласование генератора накачки с электродной системой с целью обеспечения однородного электрического поля (интенсивности свечения на длине волны 0,6328 мкм) по длине и сечению разряда.

Блок-схема экспериментальной установки для исследования распределения электрического поля и интенсивности свечения вдоль и поперек разрядной трубки представлена на рис.1. Для повышения помехозащищенности и увеличения отношения сигнал-шум основной сигнал регистрировался на переменной частоте. Для этого излучение после выхода из разрядной трубки модулировалось с помощью механического модулятора (ММ) с частотой порядка 1 кГц. Регистрация сигнала с выхода ФЭУ осуществлялась с помощью селективного микровольтметра В6-9. Сканирование изображения разряда с торца РТ по щели монохроматора (УМ-2) осуществлялось с помощью плоскопараллельной стеклянной пластины длиной 160 мм, размещенной на поворотном столике. Распределение напряженности электрического поля вдоль разрядной трубки, эквивалентное СВЧ напряжению между полосковыми электродами, сняли с помощью, перемещающейся вдоль разрядной трубки катушки индуктивности вольтметра.

Распределение интенсивности видимого свечения ($\lambda=0,6328$ мкм) вдоль разрядной трубки регистрировалось с помощью перемещающегося вдоль разрядной трубки световода, соединенного с приемником излучения (ФЭУ-55). Для выделения излучения на линии 0,6328 мкм использованы интерференционный светофильтр с полосой пропускания 50А. На рис.2,3 приведены распределение СВЧ напряжения ($U_{\text{свч}}$) вдоль полосковой линии шириной 2 мм, длиной 100 мм при изменении мощности накачки и частоты возбуждения разряда. СВЧ автогенератор собран на транзисторе КТ-907Б. Аналогичные зависимости для полосковой линии шириной 2 мм, длиной 320 мм представлены на рис.4,5. СВЧ генератор собран на транзисторе КТ-930Б. Результаты проведенного анализа показывают, что СВЧ напряжение на линии возбуждения возрастает в 2 - 6 раз при увеличении L и имеет максимальное значение в конце линии (рис.4). Увеличение мощности накачки ведет к возрастанию максимальной величины напряжения на линии (рис.2), за счет чего растет мощность, поглощаемая разрядом. Это видно из распределения интенсивности видимого свечения ($\lambda= 0,6328$ мкм) вдоль разрядной трубки (рис.5).

С увеличением частоты возбуждения разряда также увеличивается напряжение на линии (рис.3) и мощность, вкачиваемая в разряд.

При подключении СВЧ автогенератора к середине полосковой линии обнаружено (рис.6) увеличение частоты возбуждения и напряжения в конце линии, по сравнению с вышеприведенным подключением, в 1,5 - 2 раза. Это дает возможность при одинаковых мощностях накачки и длине полосковой линии вкачивать в разряд большую мощность и этим увеличивать КПД СВЧ автогенератора.

Распределение интенсивности ($\lambda=0,63$ мкм) видимого свечения вдоль разрядной трубки (рис.7) аналогично распределению СВЧ напряжения вдоль разряда (более равномерного по длине РТ).

На рис.8 показаны экспериментальные кривые распределения интенсивности видимого свечения по поперечному сечению трубки для различных мощностей накачки и давления смеси газов.

Из рисунков видно, что с увеличением мощности накачки и давления смеси газов He и Ne глубина провала ($J_{св}$) увеличивается, а максимумы смещаются к стенкам разрядной трубки. Полученные результаты указывают на неравномерность распределения концентрации электронов и усиления по сечению разрядной трубки при поперечном СВЧ разряде.

Такое распределение интенсивности видимого свечения объясняется неравномерным поглощением мощности СВЧ поля по сечению разрядной трубки т.к. при выполнении условия [2]

$$n_e > n_{кр} = \frac{m(\omega^2 + \nu_{СТ}^2)}{4\pi e^2} \quad (1)$$

СВЧ поле при проникновении внутрь разрядной трубки ослабляется и поглощается, e - заряд электрона, n_e - электронная концентрация газового разряда, $n_{кр}$ - критическая концентрация электронов, ω - частота ВЧ поля и $\nu_{СТ}$ - частота столкновений

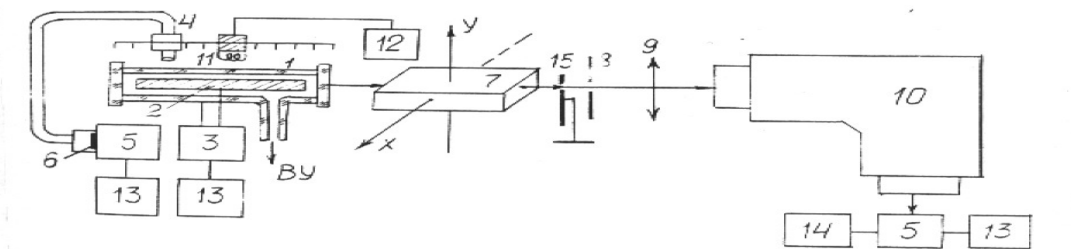


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки.

1 - разрядная трубка; 2 - полосковая линия; 3 - СВЧ автогенератор; 4 - световод; 5 - фотоприемник; 6 - интерференционный светофильтр; 7 - плоскопараллельная пластинка; 8 - диафрагма; 9 - конденсорная линза; 10 - монохроматор; 11 - детекторная головка; 12 - милливольтметр В7-26; 13 - блок питания; 14 - селективный микровольтметр; 15 - механический модулятор.

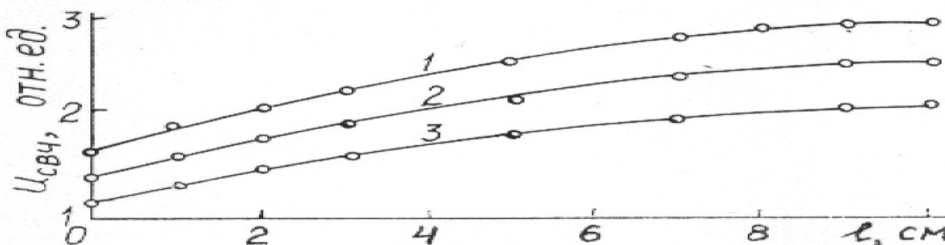


Рис.2. Распределение СВЧ напряжения вдоль линии при различных мощностях накачки W_n , Вт: 1) 7,5; 2) 5,5; 3) 3,5. $P=3,8$ мм.рт.ст.(0,5кПа) . $P_{He}:P_{Ne}=7:1$, $f=460$ МГц.

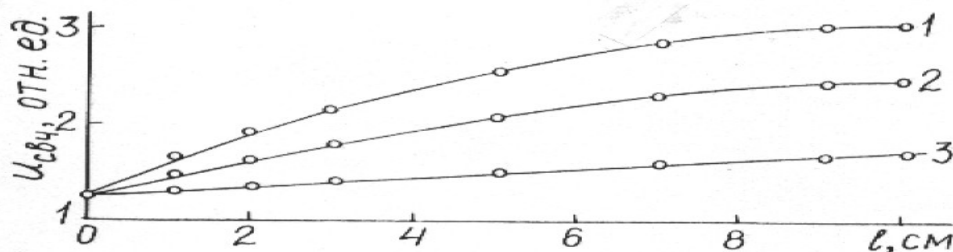


Рис.3. Распределение СВЧ напряжения вдоль линии при различных частотах накачки f_n , МГц: 1) 600; 2) 460; 3) 300; $W_n=5,5$ Вт; $P=3,8$ мм.рт.ст. (0,5кПа).

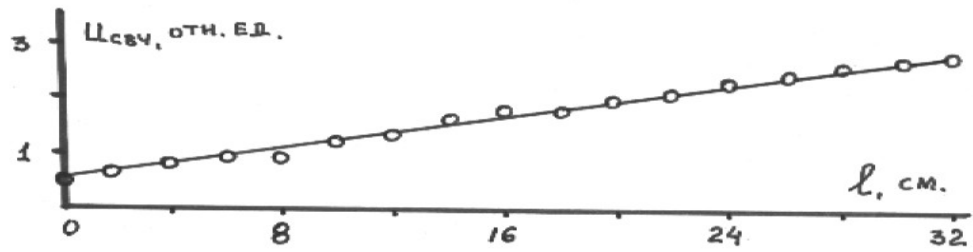


Рис.4. Распределение СВЧ напряжения вдоль линии возбуждения при ПСВЧР в смеси гелий-неон. $W_H=15$ Вт; $P=4,1$ мм.рт.ст.(0,55кПа) $P_{He}:P_{Ne}=9:1$, $f_H=300$ МГц

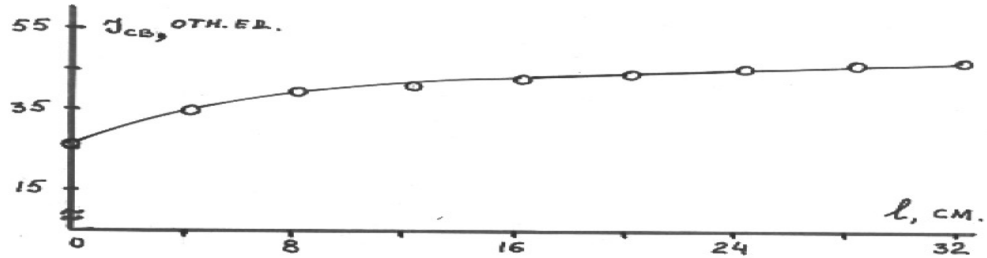


Рис.5. Распределение интенсивности видимого свечения ($\lambda=0,6328$ мкм) ПСВЧР вдоль линии возбуждения. $W_H=15$ Вт; $P=4,1$ мм.рт.ст., $P_{He}:P_{Ne}=9:1$, $f_H=300$ МГц.

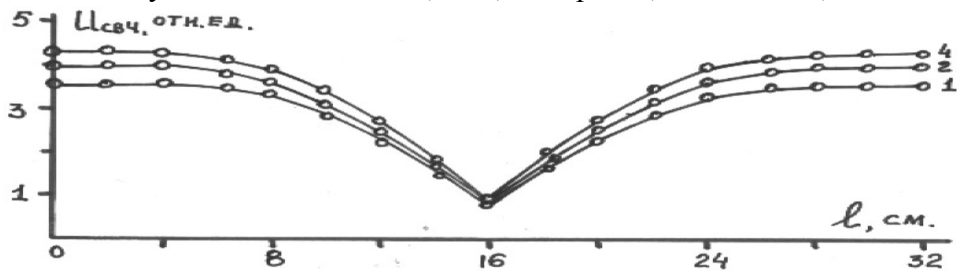


Рис.6. Распределение СВЧ напряжения вдоль линии возбуждения при ПСВЧР в смеси гелий-неон $\chi=P_{He}:P_{Ne}$ и давления P (мм.рт.ст.), соответственно: 1) $\chi=5$ и $P=3,3$ (0,44кПа); 2) 7 и 3,8; 4) 23 и 5,2. $W_H=15$ Вт; $f_H=300$ МГц.

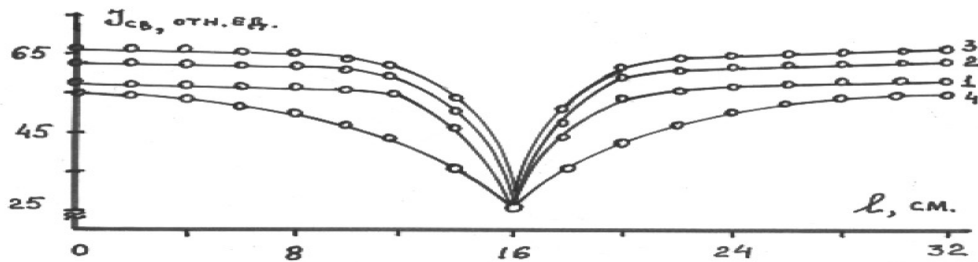
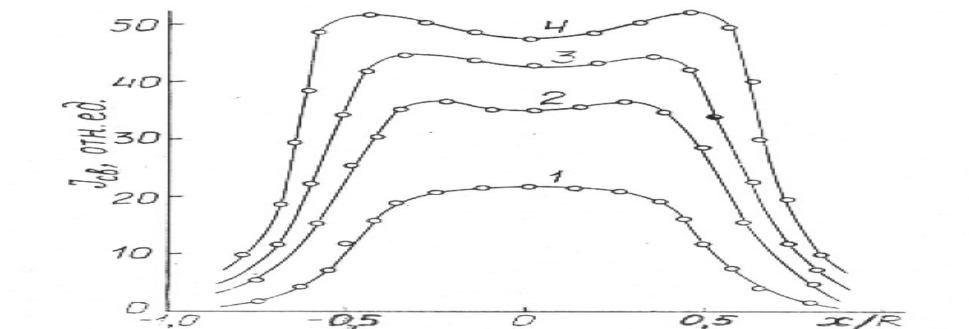
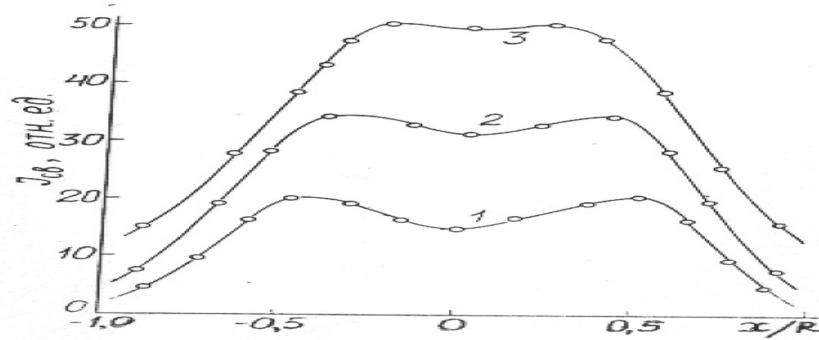


Рис.7. Распределение интенсивности видимого свечения ($\lambda=0,6328$ мкм) ПСВЧР вдоль линии возбуждения. 1) $\chi=5$ и $P=3,3$ мм.рт.ст.(0,44кПа); 2) 7 и 3,8; 4) 23 и 5,2, соответственно. $W_H=15$ Вт; $f_H=300$ МГц.



а).



б).

Рис.8,а.б. Распределение интенсивности спонтанного излучения ($\lambda=0,6328$ мкм) ПСВЧР в смеси гелий-неон по сечению разрядной трубки при различных
а) мощностях накачки W_H , Вт: 1) 3; 2) 5; 3) 9; 4) 14. $P=4,2$ мм.рт.ст.(0,56кПа),
 $\chi=P_{He}:P_{Ne}=7:1$, $f_H=300$ МГц. $d=2,0$ мм.
б) давлениях смеси газов P , мм.рт.ст.: 1).10(1.33кПа); 2).7(0,93); 3). 3(0,4). при $W_H=9$ Вт,
 $\chi=P_{He}:P_{Ne}=7:1$, $f_H=300$ МГц, $d=2,0$ мм.

электронов с нейтральными частицами. На расстоянии δ от стенки разрядной трубки, равном

$$\delta = \frac{c}{\omega} \left(\frac{2n_{кр} \nu_{ст}}{m\omega} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

СВЧ поле уменьшается в e раз, т.е. эффективная ионизация газа в разрядной трубке происходит до расстояний δ от стенки РТ. При этом основным механизмом потерь заряженных частиц является диффузия на стенку разрядной трубки.

Таким образом, из-за скин-эффекта и диффузии электронов на стенку происходит неравномерное распределение электронов по сечению разрядной трубки. При этом можно сказать, что на некотором расстоянии от стенки трубки проявляется область с максимальной концентрацией.

Образование сложной структуры разряда непосредственно определяет профиль коэффициента усиления [3], который определяет модовый состав излучения лазера вместе с заданной конфигурацией резонатора[4].

Литература

1. Иманкулов З.И., Мурзалиев К.А. Конструкции активного элемента с поперечными ВЧ и СВЧ разрядами и исследование оптимальных режимов его работы.// Материалы V- региональной НТК «Современные проблемы науки, техники и образования», 2-3 июня 2006 г. Жалалабат, ЖаГТИ.(сборн.научн.трудов), стр.22-26.
2. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме.- Москва: Наука, 1967. -371с.
3. Иманкулов З.И., Мириноятв М.М. Распределение показателя усиления He-Ne лазера по сечению разрядной трубки при поперечном СВЧ разряде. // Квантовая электроника.-1988.-Т.15.-N10.-с.1975- 1977.
4. Иманкулов З.И., Мириноятв М.М. Исследование модовой структуры He-Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом.// ДАН УзССР.- 1985.- N10.- с.28-29.