

УДК.621.373.826.

Исследование воздействия магнитного поля на характеристики излучения двухволнового He-Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом

**Иманкулов З.И. - ЖАГУ,
Расулова Д.М. – НУУз**

Аннотация

В работе исследованы различные параметры когерентного излучения при воздействии магнитного поля с периодической пространственной неравномерностью на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающего одновременно на двух длинах волн 0,63 и 1,52 мкм. Обнаружено увеличение мощности излучения лазера до 60 % при незначительном увеличении шумов излучения лазера.

Аннотация

Макалада туурасынан өтө жорку жыштыктуу разряд менен дүүлүктүрүлгөн эки толкундуу He- Ne лазеринин нуруна бир тектүү эмес магнит талаасынын таасири изилденген. Изилдөө негизинде лазер нурунун кубатуулугу 60% ке чейин көбөйгөндүгү күзөтүлгөн

Abstract

In this paper we investigated various parameters of coherent radiation in the effect of the magnetic field with a periodic spatial non-uniformity of the active medium He-Ne laser emitting at the same time with UHF at two wavelengths, 0.63 and 1.52 microns. An increase in the laser radiation power of up to 60% with a slight increase in noise emission of the laser.

В своё время большое внимание уделено разработке и созданию He-Ne лазеров с $\lambda = 1,52$ мкм [4], а также двухволновым ($\lambda = 0,63$ и $3,39$ мкм или $0,63$ и $1,52$ мкм) [1,2]. Вышеперечисленные He-Ne лазеры на разряде постоянного тока (РПТ) использовались для измерения параметров различных оптических сред, в геодезической и геофизической рефрактометрии для учета средне интегрального значения группового показателя преломления атмосферы в момент измерений, в доплеровских измерителях двух ортогональных компонент вектора скорости турбулентных потоков, двухволновых светодальномерах. He-Ne лазеры с длиной волны $1,52$ мкм является оптимальной для пропускания стекловолокном и имеет минимальные потери, но эти лазеры являются высокошумящими [3]. Для когерентной волоконно-оптической связи требуются малошумящие, высокостабильные источники излучения, в качестве которых перспективным является He-Ne лазеры с поперечным СВЧ разрядом [4-7]. Применение таких лазеров в прецизионных системах, служащих для измерения малых перемещений и флуктуаций фазы, требует дальнейшего улучшения характеристик её излучения для повышения точности измерений. Как показали результаты работ [8-10], перспективным в этом направлении является He-Ne лазер с поперечным СВЧ разрядом (ПСВЧР) с воздействием на его активную среду постоянным поперечным магнитным полем (МП). Результаты исследований показали, что He-Ne лазеры с ПСВЧР в поперечном магнитном поле обладают более высокой мощностью и низким уровнем шумов излучения по сравнению с He-Ne лазерами с РПТ или продольными ВЧ разрядами [8-10].

В связи с этим, большой интерес приобретает исследование различных параметров когерентного излучения при воздействии магнитного поля с периодической пространственной неравномерностью на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающего одновременно на двух длинах волн $0,63$ и $1,52$ мкм.

1. Экспериментальная установка (рис.1) для исследования характеристик He-Ne лазера с ПСВЧР в магнитном поле с периодической пространственной неравномерностью

собрана на разрядной трубке (1) с брюстерскими окнами с длиной и внутренним диаметром, соответственно 970 и 6 мм.

Трубка наполнена смесью He:Ne = 7:1 с общим давлением 1,35 мм рт. ст.. СВЧ энергия от двух транзисторных автогенераторов накачки (5) подводилась на две пары медных полосковых электродов (2) шириной 5 мм и длиной 43 и 45 сантиметра, установленных с наружной стороны разрядной трубки таким образом, что электрический вектор СВЧ поля E располагался перпендикулярно к плоскости поляризации лазерного излучения вызванного из-за брюстерских окон. Оптический резонатор лазера для

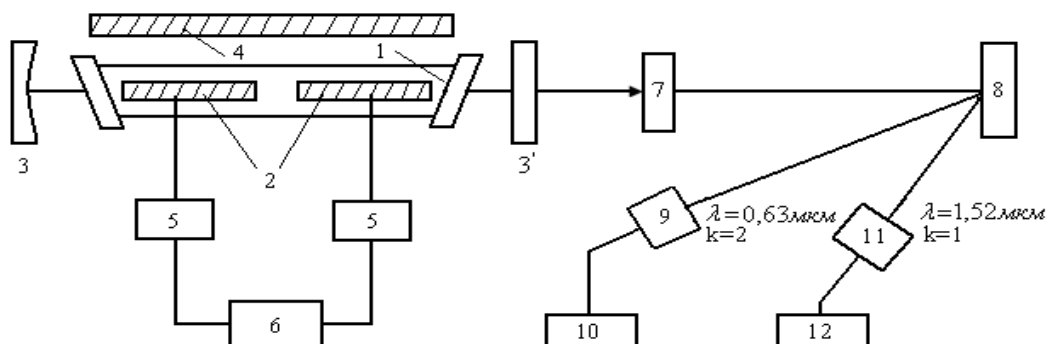


Рис.1. Схема экспериментальной установки. 1-разрядная трубка, 2-СВЧ полосковые электроды, 3 и 3'-сферическое глухое и плоское выходное зеркала, 4-постоянный магнит, 5-СВЧ генераторы, 6-блок питания, 7-механический модулятор, 8-дифракционная решетка, 9 и 11 соответственно фотодиоды типа ФД-7К и ФД-7Г, 10 и 12-милливольтметры типа ВЗ-38.

получения одновременной генерации на длинах волн $\lambda_1 = 0,63 \text{ мкм}$ и $\lambda_2 = 1,52 \text{ мкм}$ состоял из глухого сферического зеркала с радиусом кривизны 2 м и выходного зеркала с коэффициентом отражения 98 % на обеих длинах волн. Для магнитного воздействия на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР использовался постоянный магнит (4) общей длиной 900 мм, собранный из 36 прямоугольных магнетиков с размерами 5x10x25 мм, который устанавливался параллельно оси разрядной трубки на различных расстояниях от нее в зависимости от необходимой величины магнитного поля. Для разделения лучей по длинам волн использовалась отражательная дифракционная решетка (8) с периодом 10 мкм. В качестве приемников модулированного по интенсивности лазерного излучения на длинах волн 0,63 мкм и 1,52 мкм, соответственно использовались фотодиоды типа ФД-7К (9) и ФД-7Г (11). В роли модулятора интенсивности был использован механический прерыватель (7) лазерного излучения. Электрический сигнал с фотодиодов подавался на милливольтметры типа ВЗ-38 (10 и 12) с полосой измерения от 10 Гц до 1 МГц. По показаниям милливольтметра определялся сигнал, пропорциональный мощности лазерного излучения.

Путем измерения постоянной U_0 и переменной U_1 составляющих электрического сигнала с фотодиода ФД-7Г и ФД-7К определялась спектральная плотность шумов излучения в ИК и видимом диапазоне по формуле: $G(f) = U_1 / U_0 \Delta f^{1/2}$; [Гц^{-1/2}] (1)

где Δf – полоса пропускания милливольтметра.

Эффективность генерации лазерного излучения определялась по формуле

$$\gamma = P / P_n \quad (2)$$

где P - мощность лазерного излучения в относительных единицах, P_n - мощность питания двух СВЧ автогенераторов накачки.

Нами также определялась эффективность воздействия магнитного поля ($H = 150 \text{ Э и НЦЕ}$) на энергетический режим лазера по формуле: $\eta = P^m / P$ (3)

где P^m и P мощность лазерного излучения соответственно при воздействии МП и без него.

2. Получены зависимости (рис.2-5) мощности P , спектральной плотности шумов $G(f)$ лазерного излучения, эффективности генерации γ и эффективности воздействия

магнитного поля на энергетический режим η лазера на длинах волн 0,63 и 1,52 мкм от напряжения питания СВЧ автогенераторов накачки без МП и при воздействии магнитного поля с величиной 150 Э, соответственно для случаев **H** \perp **E** и **H****||****E**.

Из рисунка 2 видно, что для случаев **H**=0 и **H**=150 Э (**H** \perp **E**) с увеличением напряжения питания от 22 до 32 В мощность лазерного излучения (на $\lambda=0,63$ мкм), соответственно возросла от 6 до 65 отн. ед. и от 10 до 78 отн. ед.. Из результатов видно, что воздействие магнитного поля максимально ($\eta \approx 67\%$) при малых напряжениях питания, т. е. при $U_{\text{п}}=22$ В, а минимальный прирост мощности излучения (до $\eta \approx 20\%$) получен при напряжении питания 32 В.

Из рис.2 также видно, что с увеличением напряжения питания СВЧ автогенераторов накачки от 22 до 28 В мощность лазерного излучения возрастает почти линейно, а при дальнейшем увеличении напряжения питания до 32 В наступает некоторое замедление роста мощности. В целом, рост мощности лазерного излучения связан с увеличением концентрации электронов в ПСВЧР, о чем убедительно свидетельствует линейный рост тока, потребляемого СВЧ автогенераторами накачки от источника питания, а также линейное увеличение интенсивности видимого свечения поперечного СВЧ разряда [8-9]. Линейный ход зависимостей позволяет надеяться, что при модуляции мощности СВЧ накачки можно получить линейную модуляцию мощности лазерного излучения [10].

При увеличении напряжения питания от 22 В до 32 В спектральная плотность шумов лазерного излучения уменьшилась почти в 3,6 раза. Это объясняется увеличением мощности постоянной составляющей лазерного излучения с увеличением мощности СВЧ накачки. Из рис.2 также видно, что при «безмагнитном» (кривая γ) режиме работы СВЧ автогенераторов накачки с ростом напряжения питания от 22 до 32 В эффективность γ генерации возрастает почти линейно от 3,0 до 16. В этом случае наибольшее значение эффективности генерации $\gamma=16$ получалось при $U_{\text{п}}=28$ В. При воздействии магнитного поля величиной 150 Э, с ростом $U_{\text{п}}$ от 22 до 29 В эффективность $\gamma_{\text{м}}$ генерации почти линейно увеличивается до своего максимального значения $\gamma_{\text{м}}=20$ а затем происходит некоторое насыщение. Этот график позволяет определить наиболее оптимальный режим работы лазера.

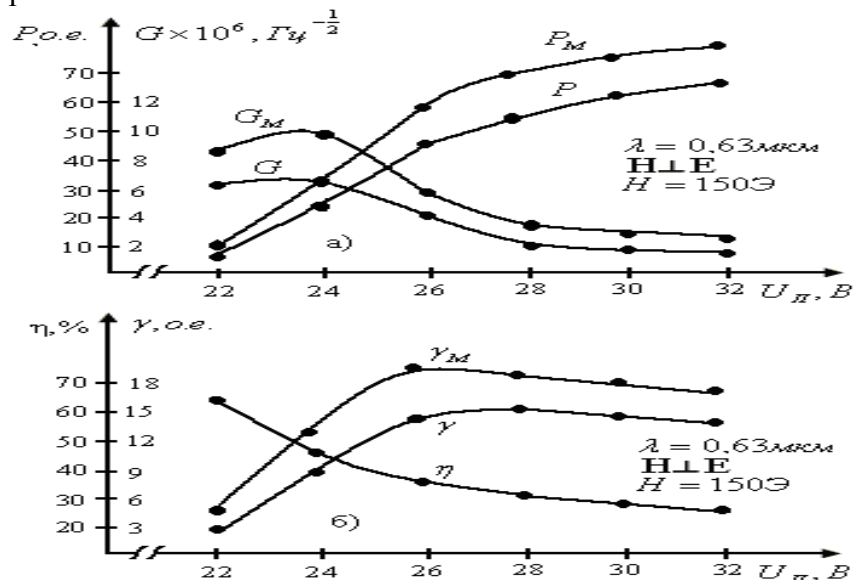


Рис.2. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от $U_{\text{п}}$ для длины волны 0,63 мкм при **H**=0 и 150 Э (**H** \perp **E**), индекс m соответствует **H**=150 Э. Аналогичные результаты были получены для длины волны 1,52 мкм.

Из рис.3 видно, для случаев **H**=0 и **H**=150 Э (**H** \perp **E**) с увеличением напряжения питания от 22 до 32 В мощность лазерного излучения на $\lambda=1,52$ мкм, соответственно, возросла от 8 до 58 отн. ед. и от 11 до 63 отн. ед.. Из результатов видно, что воздействие магнитного поля максимально ($\eta \approx 40\%$) при малых напряжениях питания, т. е. при $U_{\text{п}}=22$

В, а минимальный прирост мощности излучения (до 10%) получен при напряжении питания 32 В. Из рисунка 3 также видно, что с увеличением напряжения питания СВЧ автогенераторов накачки от 22 до 28 В, мощность лазерного излучения возрастает почти линейно, а затем наступает замедление роста мощности излучения. В данном случае рост мощности излучения также связан с увеличением концентрации электронов в ПСВЧР, о чем убедительно свидетельствует линейный рост тока потребляемого СВЧ автогенераторами накачки от источника питания, а также линейное увеличение интенсивности видимого свечения поперечного СВЧ разряда [8-9].

При увеличении напряжения питания от 22 В до 32 В спектральная плотность шумов лазерного излучения уменьшилась почти в 4,2 раза. Это объясняется увеличением мощности постоянной составляющей лазерного излучения при росте мощности СВЧ накачки. Из рис.3 также видно, что при «безмагнитном» (кривая γ) режиме работы СВЧ автогенераторов накачки с ростом напряжения питания от 22 до 32 В эффективность γ генерации возрастает почти линейно от 3.0 до 16. В этом случае наибольшее значение эффективности генерации $\gamma=16$ получалось при $U_{II}=26$ В. При воздействии магнитного

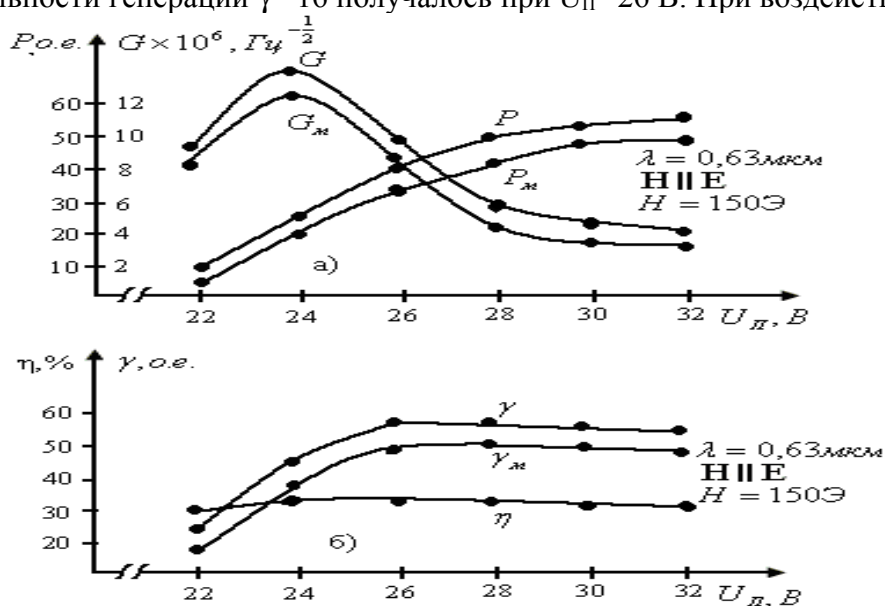


Рис.3. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от U_{II} для длины волны 0,63 мкм при $H=0$ и 150 Э ($\mathbf{H} \parallel \mathbf{E}$), индекс t соответствует $H=150$ Э.

поля величиной 150 Э, с ростом U_{II} от 22 до 29 В эффективность генерации γ_m почти линейно увеличивается до своего максимального значения $\gamma_m=16$ при напряжении питания 26 В, а затем происходит его уменьшение. Исходя из этого, можно определить наиболее оптимальный режим работы лазера. Из рис.2 и 3 видно, что при $\mathbf{H} \perp \mathbf{E}$ (в данном случае излучение имеет только π -компоненту) с воздействием \mathbf{H} мощность лазерного излучения на обеих длинах ($\lambda=0,63$ и 1,52 мкм) возрастает. Очевидно, что рост мощности

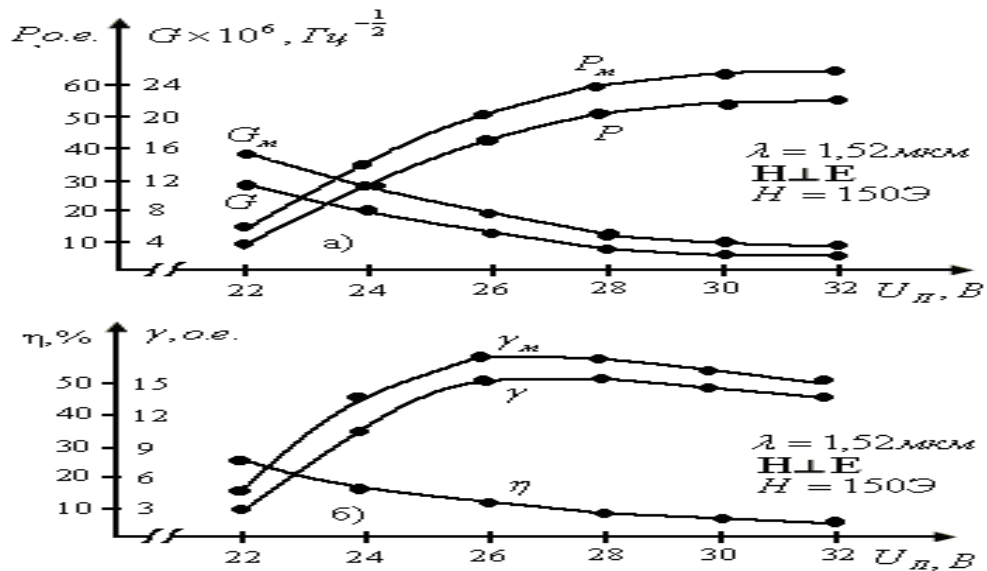


Рис.4. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от U_n для длины волны 1,52 мкм при $H=0$ и 150 Э ($H \perp E$), индекс t соответствует $H=150$ Э.

излучения связан, в основном, с увеличением концентрации электронов в поперечном СВЧ разряде. Увеличение концентрации электронов связано с искривлением траектории электронов в взаимно ортогональных \mathbf{H} и \mathbf{E} полях и соответственно увеличением их частоты соударений с нейтральными атомами. Из рисунков 4 и 5 видно также, что при $\mathbf{H} \perp \mathbf{E}$, т. е. когда вектор магнитного поля расположен перпендикулярно плоскости поляризации лазерного излучения (в данном случае лазерное излучение имеет только $\pm\sigma$ -компоненты) с воздействием \mathbf{H} мощность лазерного излучения на длинах волн 0,63 и 1,52 мкм соответственно уменьшается до 30% и 40%. Уменьшение мощности излучения лазера обусловлено с раздвижением $\pm\sigma$ -компонент контура усиления.

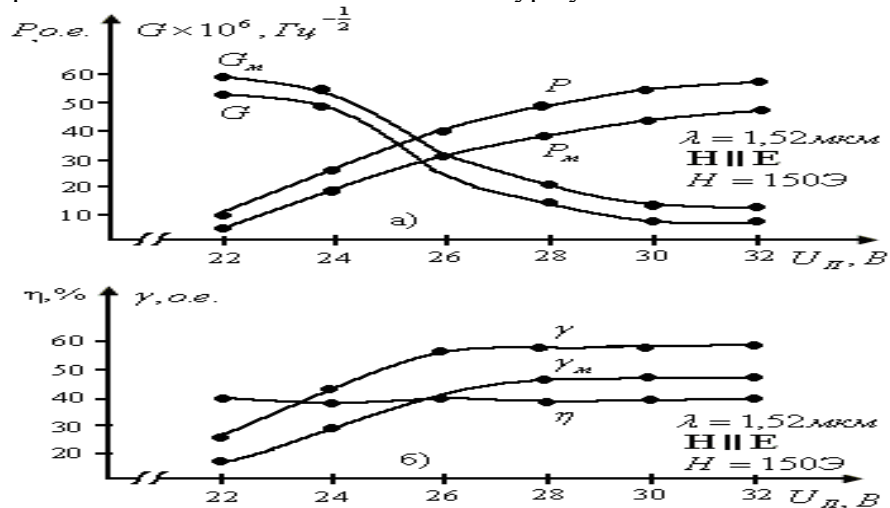


Рис.5. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от U_n для длины волны 1,52 мкм при $H=0$ и 150 Э ($H \parallel E$), индекс t соответствует $H=150$ Э.

Таким образом, при воздействии магнитного поля ($H=150$ Э) с периодической неравномерностью (~40%) на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающего одновременно на длинах волн 0,63 и 1,52 мкм достигнуты следующие результаты.

Для $\mathbf{H} \perp \mathbf{E}$:

- на длине волны 0,63 мкм мощность излучения лазера максимально возрастает до 60%, а шумы излучения возрастает до 20 %.

- на длине волны $\lambda=1,52$ мкм мощность излучения максимально возрастает до 40%, а шумы излучения возрастает до 10 %.

Для $\mathbf{H} \parallel \mathbf{E}$:

на длине волны $\lambda=0,63$ мкм мощность излучения уменьшается до 30%, а шумы излучения почти не меняется.

на длине волны $\lambda=1,52$ мкм мощность излучения уменьшается до 40%, а шумы излучения почти не меняется.

Литература

1. Eerkens I., Lee W. Conf. on Lasers and Elektroopt. (CLEO), Poster Session(21-24).05.1985.
2. Данилейко М. В., Данилов Н. К. и др. Укр. Физический журн. 34, (1989), 1668-1670.
3. Моршнев С. К., Францесон А. В. Квантовая электроника 12, (1985), 1786-1807.
4. Иманкулов З. И., Мириноятв М. М. ЖПС, т.67, №1, 2000, с.127-128.
5. Imankulov Z., Mirinoyatov M. Uzbek Journal of physics, v.1, № 4, 1999, pp. 341-343.
6. Иманкулов З. И., Мириноятв М. М. ЖПС, т.64, №1, 1997, с.116-118.
7. Иманкулов З. И., Мириноятв М. М. Вестник НУУз, 2002, №2, С.27-28.
8. Иманкулов З. И., Мириноятв М. М., Рихсиева Ш.Т. Квантовая электроника. 1989, т.16, N7, с.1510-1512.
9. Мириноятв Д.М., Мириноятв М. М., Усманов Т. Б.Вестник НУУз, 2005, № 3, с.33-35.
10. Imankulov Z., Mirinoyatov M., Usmanov T.B. Quantum, Electronics, 29 (9),1999, p.792-793
11. Иманкулов З.И., Доноев Т.А., Кошалив З.А. Вестник ЖАГУ, №1(22), 2009, с.155-159.