

УДК.621.373.826.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВУХВОЛНОВОГО НЕ-НЕ ЛАЗЕРА с ПОПЕРЕЧНЫМ СВЧ РАЗРЯДОМ

З.И.Иманкулов - к.ф.-м.н., доцент ЖАГУ
Д.М.Расулова – аспирантка НУУз (г.Ташкент)
imankulovz@rambler.ru

Аннотация

В работе исследованы различные параметры когерентного излучения при воздействие 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.

Abstract

The study of the magnetic field effect on the emission characteristics of Two-wavelength He-Ne laser with a transverse microwave discharge.

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.

Большое внимание уделено учеными мира разработке и созданию He-Ne лазеров с $\lambda = 1,52$ мкм [3], 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 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 [5]. 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 [4-6]. 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 [7-9], перспективным в этом направлении является He-Ne лазер с поперечным СВЧ разрядом (ПСВЧР) с воздействием на его активную среду постоянным поперечным магнитным полем. 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 [7-9,10]. В связи с этим, большой интерес приобретает исследование различных параметров когерентного излучения при воздействие 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.

Для исследования характеристик He-Ne лазера с ПСВЧР в магнитном поле с периодической пространственной неравномерностью использовали экспериментальную установку описанной в [10]. Электрический вектор СВЧ поля (E) располагался перпендикулярно к плоскости поляризации лазерного излучения вызванного из-за

брюстеровских окон. Оптический резонатор лазера для получения одновременной генерации на длинах волн $\lambda_1=0,63$ мкм и $\lambda_2=1,52$ 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 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 напряженности магнитного поля (**H**). Для разделения лучей по длинам волн использовался отражательная дифракционная решетка 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 и ФД-7Г. Электрический сигнал с фотодиодов подавался на милливольтметры типа ВЗ-38 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:

$$G(f)=U_1/U_0 \Delta f^{1/2}; [\text{Гц}^{-1/2}] \quad (1) \quad \text{где } \Delta f - \text{полоса пропускания милливольтметра.}$$

Эффективность генерации лазерного излучения определялась по формуле

$$\gamma = P/P_{\text{п}} \quad (2) \quad \text{где } P - \text{мощность лазерного излучения в относительных единицах, } P_{\text{п}} - \text{мощность питания двух СВЧ автогенераторов накачки.}$$

Нами также определялась эффективность воздействия магнитного поля на энергетический режим лазера по формуле:

$$\eta = P_m/P \quad (3) \quad \text{где } P_m \text{ и } P \text{ мощность лазерного излучения соответственно при воздействии магнитного поля и без него.}$$

Получены зависимости (рис.1-4) 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 магнитного поля и при воздействии магнитного поля с величиной 150 Э, соответственно для случаев **H**⊥**E** и **H**∥**E**.

Из рисунка 1 видно, что для случаев **H**=0 и **H**=150 Э при (**H**⊥**E**) с увеличением напряжения питания от 22 В до 32 В мощность лазерного излучения (на $\lambda=0,63$ мкм), соответственно возрастала до 65 и до 78 отн. ед.. Из полученных 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.1 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 [9]. 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.1 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 $U_{п}=28$ В. При воздействии магнитного поля величиной 150 Э, с ростом $U_{п}$ от 22 до 29В эффективность γ_m генерации почти линейно увеличивается до своего максимального значения $\gamma_m=20$ а затем происходит некоторое насыщение. Этот график позволяет определить наиболее оптимальный режим работы лазера.

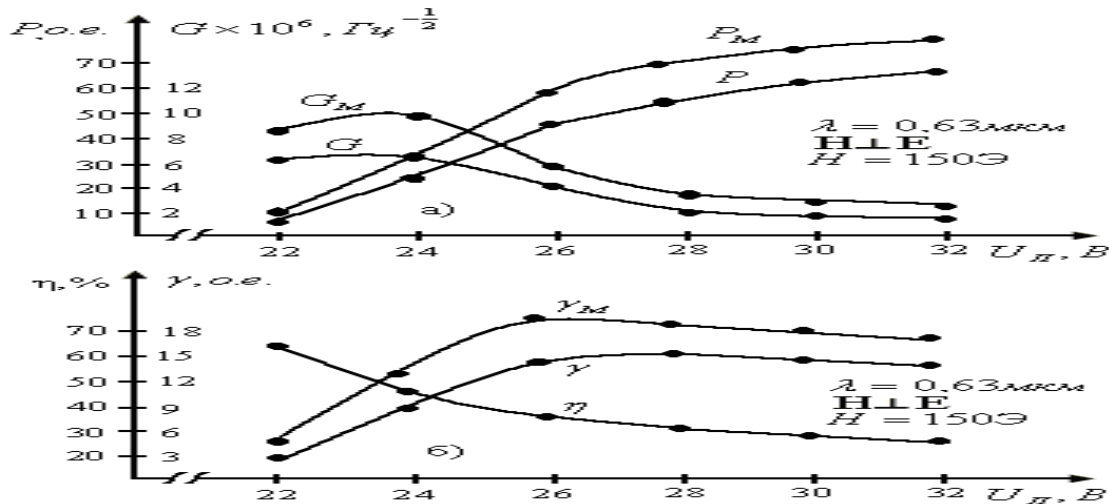


Рис.1. Зависимости $P, P_m, G, G_m, \gamma, \gamma_m, \eta$ от $U_{п}$ для длины волны 0,63мкм при $H=0$ и 150 Э ($H \perp E$), индекс м соответствует $H=150$ Э

Аналогичные результаты были получены для длины волны 1,52 мкм. Из рис.2 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, возрастала 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 $U_{п}=22$ В, а минимальный прирост мощности излучения (до 10%) получен при напряжении питания 32 В. Из рисунка 2 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 $U_{п}=26$ В.

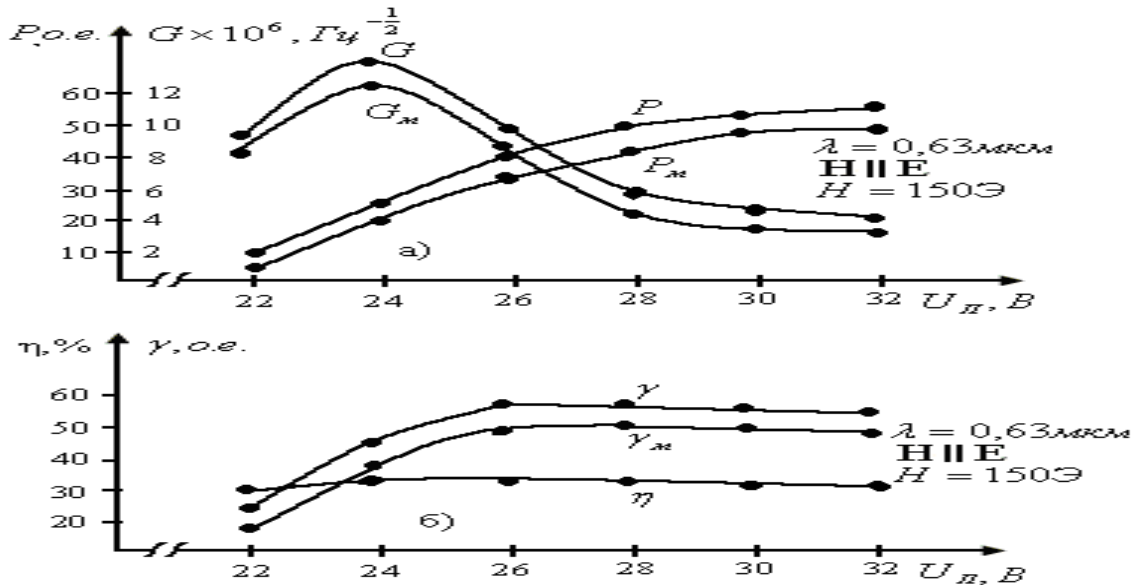


Рис.2. Зависимости $P, P_m, G, G_m, \gamma, \gamma_m, \eta$ от U_{II} для длины волны $0,63 \mu\text{м}$ при $H=0$ и 150 Э ($H \parallel E$), индекс m соответствует $H=150 \text{ Э}$

При воздействии магнитного 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. 1 и 2 видно, что при $H \perp E$ (в данном случае излучение имеет только π -компоненту) с воздействием H мощность лазерного излучения на обеих длинах ($\lambda=0,63$ и $1,52 \mu\text{м}$) возрастает.

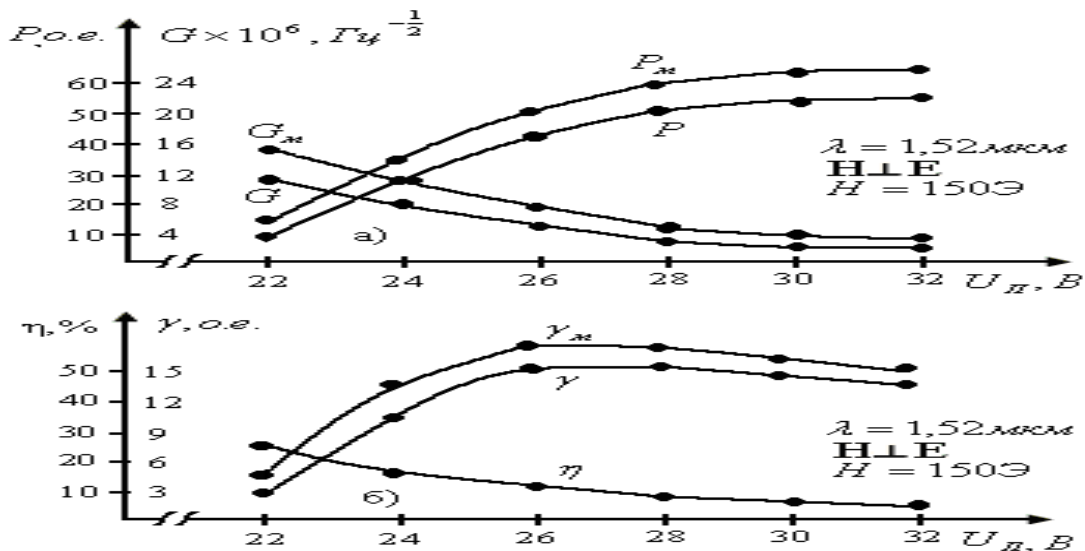


Рис.3. Зависимости $P, P_m, G, G_m, \gamma, \gamma_m, \eta$ от U_{II} для длины волны $1,52 \mu\text{м}$ при $H=0$ и 150 Э ($H \perp E$), индекс m соответствует $H=150 \text{ Э}$

Очевидно, что рост мощности излучения связан, в основном, с увеличением концентрации электронов в поперечном СВЧ разряде. Увеличение концентрации

электронов связано с искривлением траектории электронов в взаимно ортогональных **H** и **E** полях и соответственно увеличением их частоты соударений с нейтральными атомами.

Из рисунков 3 и 4 видно также, что при **H⊥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 **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.

Таким образом, при воздействии магнитного поля ($H=150\text{Э}$) 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.

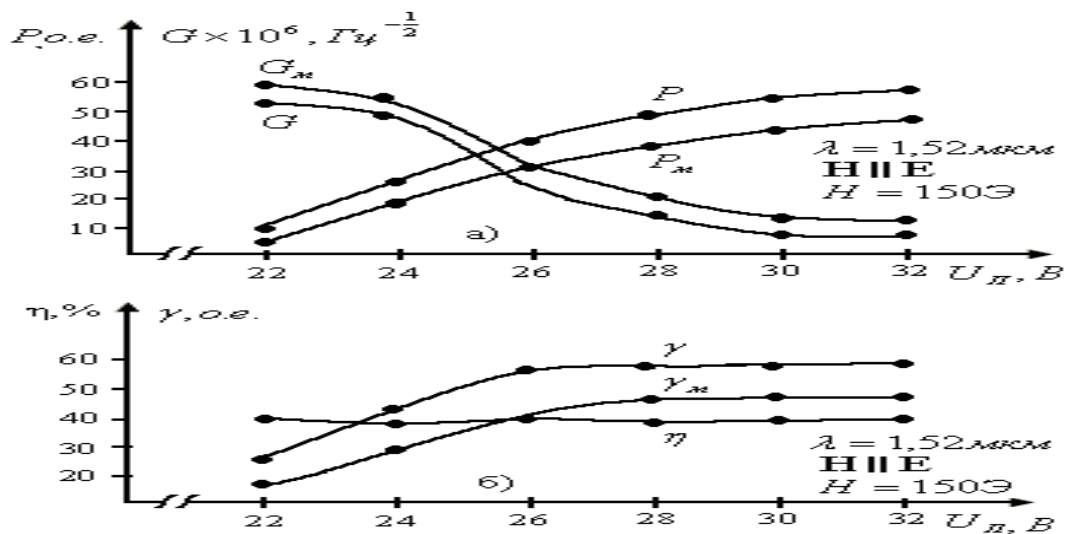


Рис.4. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от $U_{п}$ для длины волны 1,52 мкм при $H=0$ и 150 Э (**H⊥E**), индекс m соответствует $H=150 \text{ Э}$

Для случая **H⊥E** (**H** перпендикулярно на **E**):

- на длине волны 0,63 мкм мощность излучения лазера максимально возрастает до 60%, а шумы излучения до 20 %.
- на длине волны $\lambda=1,52$ мкм мощность излучения максимально возрастает до 40%, а шумы излучения до 10 %.

Для случая **H//E** (**H** параллельно на **E**):

- на длине волны $\lambda=0,63$ мкм мощность излучения лазера уменьшается до 30%, а шумы излучения почти не меняется.
- на длине волны $\lambda=1,52$ мкм мощность излучения лазера уменьшается до 40%, а шумы излучения почти не меняется.

Литература:

1. Eerkens I. W., Lee W. W. Conf. on Lasers and Elektroopt. (CLEO), Poster Session. May 21-24 (1985).
2. Данелейко М. В. Данилов Н. К. и др. Укр. Физ. Журн. 34, (1989), 1668-1670.
3. Моршнев С. К., Францессон А. В. Квант. электрон. 12, (1985), 1786-1807.
4. Иманкулов З. И., Миринойтов М. М. Малошумящий одночастотный He-Ne лазер со стабильной мощностью излучения на длине волны 1,52 мкм. Журнал прикладной спектроскопии, т.64, (1987), с.116-118.
5. Иманкулов З. И., Миринойтов М. М. Двухволновый He-Ne лазер с поперечным СВЧ

- возбуждением для светодальнометрии. Вестник НУУз, 2002, №2, С.27-28.
6. Иманкулов З. И., Мириноятов М. М., Рихсиева Ш.Т. Влияние поперечного магнитного поля на характеристики He-Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом. Квантовая электроника. 1989. Т.16. N7.-С.1510-1512.
 7. Мириноятова Д.М., Мириноятов М. М., Усманов Т. Б. Исследование воздействия постоянного магнитного поля на выходные характеристики He- Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом. Вестник НУУз, 2005, № 3, С.33-35.
 8. Иманкулов З.И., Мириноятов М.М., Усманов Т.Б. Влияния магнитного поля на мощность и шумы излучения He-Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом. Квантовая электроника, 1999,28, с. 237-238.
 9. Иманкулов З.И., Доноев Т. А., Кошалив З.А. Экспериментальное исследование модуляционной характеристики излучения одночастотного He-Ne лазера с ПСВЧР. Вестник ЖаГУ, №1(22), 2009, стр.155-159.
 - 10.Иманкулов З.И., Мириноятова Д.М. Исследование воздействия постоянного магнитного поля с периодической неравномерностью на выходные характеристики He-Ne лазера с поперечным СВЧ разрядом. //Вестник ЮО НАН КР, №1, 2013, стр.25-29.