

ИНФРАКРАСНЫЙ ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫЙ ЛАЗЕР С ПОПЕРЕЧНЫМ СВЧ РАЗРЯДОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В работе исследованы различные параметры когерентного излучения при воздействии магнитного поля с периодической пространственной неравномерностью на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающего длину волны 1,52 мкм. Обнаружено увеличение мощности излучения лазера до 33 % при незначительном увеличении шумов излучения лазера.

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 wavelengths 1.52 microns. An increase in the laser radiation power of up to 33% with a slight increase in noise emission of the laser.

В своё время большое внимание уделено разработке и созданию He-Ne лазеров с длиной волн $\lambda=1,52$ мкм [1]. 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.

He-Ne лазер с длиной волны 1,52 мкм является оптимальной для пропускания стекловолокном и имеет минимальные потери, но эти лазеры являются высоко шумящими [2]. Для когерентной волоконно-оптической связи требуются

малошумящие, высокостабильные источники излучения, в качестве которых перспективным является He-Ne лазеры с поперечным СВЧ разрядом [3-6]. Применение таких лазеров в прецизионных системах, служащих для измерения малых перемещений и флуктуаций фазы [9], требует дальнейшего улучшения характеристик её излучения для повышения точности измерений. Как показали результаты работ [7, 8], 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 [7,8].

В связи с этим, большой интерес представляет исследование различных параметров когерентного излучения при воздействии магнитного поля с периодической пространственной неравномерностью на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающего длину волны 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 брестеровскими 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 см, установленных с наружной стороны разрядной трубки таким образом, что электрический вектор СВЧ поля E располагался перпендикулярно к плоскости поляризации лазерного излучения вызванного из-за брестеровских окон. Оптический резонатор лазера для получения генерации на длинах волн $\lambda_2=1,52$ мкм состоял из глухого сферического зеркала с радиусом кривизны 2 м и выходного зеркала с радиусом кривизны 2 м и выходного зеркала с коэффициентом отражения 98 %. 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.

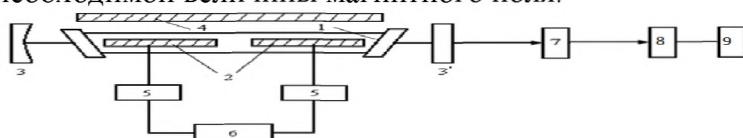


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1-разрядная трубка, 2-СВЧ полосковые электроды, 3и 3'- сферическое глухое и плоское выходное зеркала, 4-постоянный магнит, 5- СВЧ генераторы, 6-блок питания, 7-механический модулятор, 8-фотодиод типа ФД-7Г, 9-милливольтметр типа ВЗ-38.

В качестве приемников модулированного по интенсивности лазерного излучения на длинах волн 1,52 мкм, использовалась фотодиод типа ФД-7Г(9). В роли модулятора интенсивности был использован механический прерыватель (7) лазерного излучения. Электрический сигнал с фотодиода подавался на милливольтметр типа ВЗ-38 (10) 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_{ω} составляющих электрического сигнала с фотодиода ФД-7К определялась спектральная плотность шумов излучения в ИК диапазоне по формуле:

$$G(f) = U_{\omega} / U_0 = \Delta f^{1/2}; [\text{Гц}^{-1/2}] \quad (1)$$

где Δf – полоса пропускания милливольтметра.

Эффективность генерации лазерного излучения определялась по формуле

$$\gamma = P/P_{\text{л}} \quad (2)$$

где P – мощность лазерного излучения в относительных единицах, $P_{\text{л}}$ – мощность питания двух СВЧ автогенераторов накачки.

Нами также определялась эффективность воздействия магнитного поля ($H=150$ Э и $H \perp E$) на энергетический режим лазера по формуле:

$$\eta = P^m/P \quad (3)$$

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

2. Получены зависимости (рис. 2, 3) 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 1,52 мкм от напряжения питания СВЧ автогенераторов накачки без магнитного поля и при воздействии магнитного поля с величиной 150 Э, соответственно для случаев $H \perp E$ и $H \parallel E$.

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 соответственно, возрастала от 8 до 58 отн. ед. и от 11 до 63 отн. ед.. Из результатов видно, что воздействие магнитного поля максимально ($\eta \approx 33\%$) 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 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 [4,5,8].

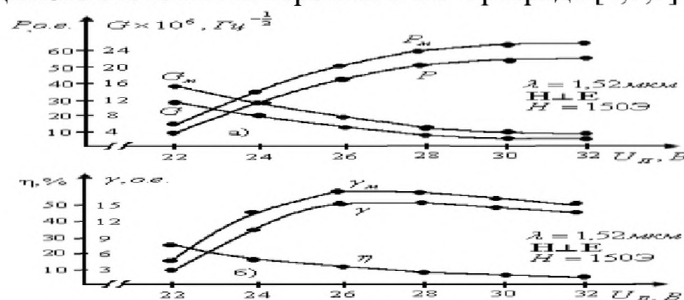


Рис. 4. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от U_n для длины волны 1,52 мкм при $H=0$ и 150 Э ($H \perp E$), индекс m соответствует $H=150$ Э.

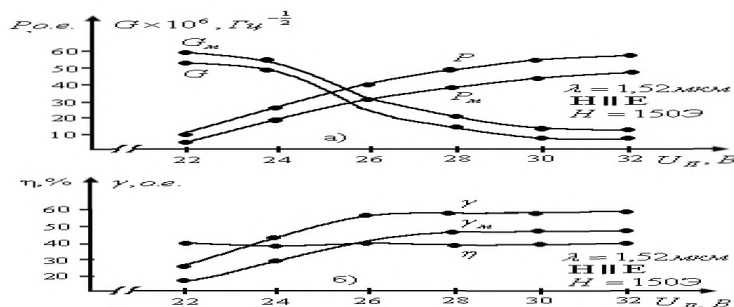


Рис. 5. Зависимости P , P_m , G , G_m , γ , γ_m , η от U_n для длины волны 1,52 мкм при $H=0$ и 150 Э ($H \parallel E$), индекс m соответствует $H=150$ Э.

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. 2 также видно, что при «безмагнитном» (кривая) режиме работы СВЧ автогенераторов накачки с ростом напряжения питания от 22 до 32 В эффективность генерации возрастает почти линейно от 3.0 до 16. В этом случае наибольшее значение эффективности генерации $\gamma = 16$ получалось при $U_{\Pi} = 26$ В. При воздействии магнитного поля величиной 150 Э, с ростом U_{Π} 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 видно, что при $H \perp E$ (в данном случае излучение имеет только π -компоненту) с воздействием H мощность лазерного излучения ($\lambda = 1,52$ мкм) возрастает. 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 рис. 3 видно, 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 1,52 мкм соответственно уменьшается до 40%. Уменьшение мощности излучения лазера обусловлено с раздвижением $\pm\sigma$ -компонент контура усиления.

Таким образом, при воздействии магнитного поля ($H = 150$ Э) с периодической неравномерностью ($\sim 40\%$) на активную среду He-Ne лазера с ПСВЧР излучающей длиной волны 1,52 мкм достигнуты следующие результаты.

Для случая $H \perp E$ мощность излучения максимально возрастает до 33%, а шумы излучения возрастает до 10 %.

Для случая $H // E$ мощность излучения уменьшается до 40%, а шумы излучения почти не меняются.

Литература:

1. Иманкулов З. И., Миринояттов М. М. ЖПС, т. 67, № 1, 2000. - С. 127-128.
2. Моршнева С. К., Францесон А. В. Квант. электрон. т. 12, 1985, 1786-1807.
3. Муллер Я.Н. Известия вузов СССР "Радиоэлектроника". -1979, т. 22. N 10. - С. 55-68.
4. Иманкулов З. И., Миринояттов М. М. ЖПС, т. 64, № 1, 1997. - С. 116-118.
5. Иманкулов З. И., Миринояттов М. М., Рихсиева Ш.Т. Квантовая электроника. 1989. Т. 16, № 7. - С. 1510-1512.
6. Imankulov Z.I., Mirinoyatov M., Usmanov T.B. Quantum, Electronics, 29(9), 1999. - P. 792-793.
7. Иманкулов З.И., Миринояттов М. Автометрия, 2000, № 2. - С.124-128.
8. Иманкулов З.И., Миринояттова Д.М. Вестник Южного отделения Национальной АН Кыргызской Республики, 2013, № 1. - С. 25-29.
8. Imankulov Z.I., Mirzaev A.T. Yakubov A.N. Instruments and Experimental Techniques, vol. 41, № 6, 1998. – P. 80-82.