

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ДВУХВОЛНОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

Полупроводниковые инжекционные лазеры, позволяющие генерировать когерентное излучение на двух различных оптических длинах волн [1], имеют хорошие перспективы для применения в лазерных измерительных и диагностических системах различного назначения. Так как метрологические характеристики таких систем в значительной степени определяются точностью задания и возможностью перестройки длины волны лазерного излучателя, разработка методов управления и стабилизации длины волны излучения двухволновых инжекционных лазеров является важной и актуальной проблемой.

Для решения задачи управления и стабилизации длины волны лазерного излучения [2] в качестве дисперсионного элемента может быть использована волоконно-оптическая линия задержки. В системе реализуется режим амплитудной модуляции излучения (синусоидальной рециркуляции). По величине частоты (периода) модуляции путем изменения тока инжекции производится перестройка и стабилизация длины волны излучения. Данное устройство позволяет с высокой точностью измерять длину волны излучения одного лазера и обеспечивает управление длиной волны его излучения, однако оно не способно одновременно измерять две длины волны излучения лазера, а также управлять длиной волны излучения лазеров, способных генерировать излучение на двух оптических длинах волн.

Для решения задачи одновременного измерения двух длин волн когерентного излучения и управления длиной волны двухволновых лазеров разработана система, в которой реализуется режим оптико-электронной рециркуляции одновременно на двух оптических длинах волн. Полупроводниковые лазеры с асимметричной квантово-размерной гетероструктурой, обеспечивающие генерацию на двух различных оптических длинах волн, известны и описаны в [1]. Активная область таких лазеров образована двумя квантовыми ямами, которые образуют единый волновод для излучения на двух длинах волн. Переключение длины волны излучения в импульсе с λ_1 на λ_2 происходит при скачкообразном изменении амплитуды тока накачки в импульсе с I_1 до I_2 . При плавном изменении в небольших пределах тока накачки для данной длины волны происходит плавная перестройка длины волны генерации в узких пределах.

На рис. 1 представлена функциональная схема системы измерения длины волны излучения двухволнового инжекционного лазера. Система

содержит источник лазерного излучения Л, блок управления длиной волны излучения лазера БУ, дисперсионный волоконный световод ВС, фотоприемник ФП, усилитель У, вычислительный блок В, элемент “И” – &, линию задержки ЛЗ.

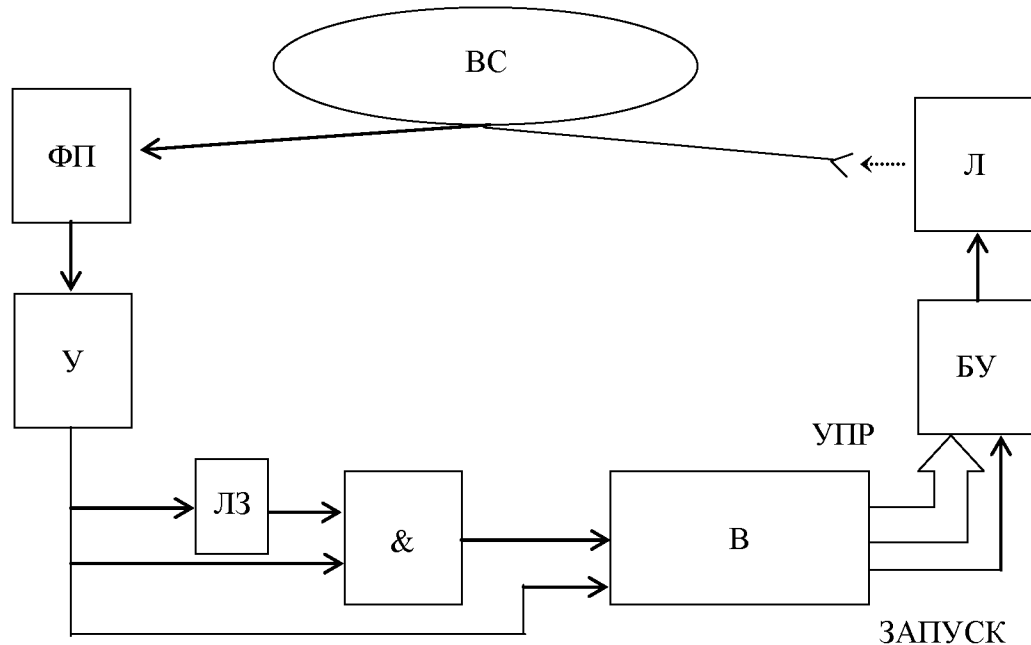


Рис. 1. Функциональная схема системы измерения длины волны излучения двух-волнового инжекционного лазера

В качестве дисперсионного элемента используется волоконно-оптический световод [2]. Время распространения оптического излучения в световоде будет зависеть от длины волны излучения.

В начальный момент времени блок управления длиной волны излучения БУ формирует импульсы тока I_1 и I_2 для запуска лазера на длинах волн λ_1 и λ_2 . После прохождения световода оптические импульсы регистрируются фотоприемником, усиливаются усилителем и поступают в вычислительный блок, где формируются импульсы для очередного запуска лазера и направления излучения в световод, причем зарегистрированный импульс тока I_1 запускает лазер на длине волны λ_1 , а импульс тока I_2 запускает лазер на λ_2 . Таким образом, при замкнутой петле оптической обратной связи в системе устанавливается процесс рециркуляции одновременно на двух оптических длинах волн, период τ которой определяется оптической задержкой излучения в световоде при постоянной электрической задержке в блоках системы.

Так как скорость распространения оптического излучения в световоде зависит от длины волны, причем $\lambda_1 < \lambda_2$ ($n_1 > n_2$), то задержка в световоде излучения с длиной волны λ_1 будет больше, чем с λ_2 . Разность оптических задержек за один период рециркуляции равняется

$$\Delta t = \frac{Ln_1}{c} - \frac{Ln_2}{c} = \frac{L}{c}(n_1 - n_2), \quad (1)$$

где L – длина световода, c – скорость света в вакууме, n_1, n_2 – коэффициенты преломления световода на длинах волн λ_1 и λ_2 .

Следовательно импульсы, рециркулирующие на длине волны λ_1 , будут сдвигаться во времени относительно импульсов на длине волны λ_2 на величину Δt за каждый период рециркуляции, т. е. импульсы на длине волны λ_2 будут “догонять” импульсы на длине волны λ_1 . Для фиксации момента накопления разности временных задержек до величины T в системе используется элемент “И” и линия задержки ЛЗ. В начальный момент запуска системы импульсы на длинах волн λ_1 и λ_2 разнесены во времени на интервал $T + t_z$, где t_z – длительность задержки линии задержки. В режиме рециркуляции происходит накопление разности временных задержек Δt и за число периодов рециркуляции N разность задержек станет равной $T = N\Delta t$, т. е. импульсы на длинах волн λ_1 и λ_2 совпадут во времени на входах элемента “И” и на его выходе появится сигнал, поступающий в вычислительный блок. После того, как число периодов рециркуляции станет равным

$$N = T/\Delta t \quad (2)$$

система заканчивает измерение разности $\Delta n = n_1 - n_2$ коэффициентов преломления световода n_1 и n_2 на длинах волн генерации двухволнового лазера λ_1 и λ_2 . Разность Δn из (1) и (2) вычисляется по формуле

$$\Delta n = n_1 - n_2 = \frac{Tc}{NL}. \quad (3)$$

Период рециркуляции на длине волны λ_1 будет определяться следующим образом

$$\tau_1 = Ln_1/c + t_e, \quad (4)$$

где, L – длина световода, n_1 – коэффициент преломления для длины волны излучения λ_1 , c – скорость света, t_e – время электрической задержки.

Так как частоту следования импульсов можно измерить более просто и с большей точностью, чем временной интервал между импульсами, то в системе измеряется частота рециркуляции импульсов на длине волны λ_1 , равная $f_1 = 1/\tau_1$ (5), где τ_1 – суммарная задержка излучения в петле обратной связи. Значение частоты рециркуляции f_1 и число периодов N определяются с высокой точностью в вычислительном блоке. Определив

частоту рециркуляции (время оптической задержки излучения в световоде), значение коэффициента преломления n_1 на длине волны λ_1 , полученное из (4), (5), можно вычислить по следующей формуле

$$n_1 = \frac{c}{f_1 L} - \frac{ct_e}{L}. \quad (6)$$

Разность Δn коэффициентов преломления световода n_1 и n_2 на длинах волн λ_1 и λ_2 вычисляется по формуле (3).

Определив коэффициент преломления n_1 и используя известные формулы и таблицы, например приведенные в [3], [4], можно определить длину волны оптического излучения λ_1 . По разности коэффициентов преломления Δn определяется коэффициент преломления $n_2 = n_1 - \Delta n$ и, следовательно, длина волны оптического излучения λ_2 . В память вычислительного блока записываются требуемые величины длин волн излучения λ_1 и λ_2 (коэффициентов преломления n_1, n_2). Если измеренные значения n_1, n_2 (длины волн λ_1, λ_2) не совпадают с требуемыми, то вычислительный блок изменяет код амплитуды импульсов тока для запуска лазера I_1 и I_2 до тех пор, пока длины волн оптического излучения не станут равны λ_1 и λ_2 . Таким образом, осуществляется автоподстройка длин волн излучения двухволнового лазера. В расчетные формулы (3), (6) входят постоянные величины: длина световода L и время электрической задержки t_e . Определять их значение с высокой точностью дополнительными методами нет необходимости, так как их величину можно учесть при калибровке системы с помощью источника с точно известной длиной волны излучения.

На (рис. 2–4) представлены результаты математического моделирования работы описанной системы.

На рис. 2 представлены зависимости разности числа периодов рециркуляции N от разности длин волн двухволнового лазера $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ для различных типов оптических световодов при длине волокна $L = 200$ м, $T = 1$ мкс и длине волны излучения $\lambda \approx 0,8$ мкм.

На рис. 3 представлены зависимости изменения числа периодов рециркуляции ΔN от изменения одной из длин волн генерации двухволнового лазера $\Delta\lambda$ для различных типов оптических световодов при длине волокна $L = 200$ м, $T = 2$ мкс и длине волны излучения $\lambda \approx 0,8$ мкм. График на рис. 3 характеризует чувствительность системы к изменению длины волны генерации лазера, и как следует из графика, чувствительность составляет $0,05 \text{ \AA}$. На рис. 4 представлены зависимости хроматической дисперсии от длины волны излучения для различных стекол. Величина хроматической дисперсии изменяется в пределах $45 \dots 70 \text{ пс/км}\cdot\text{нм}$.

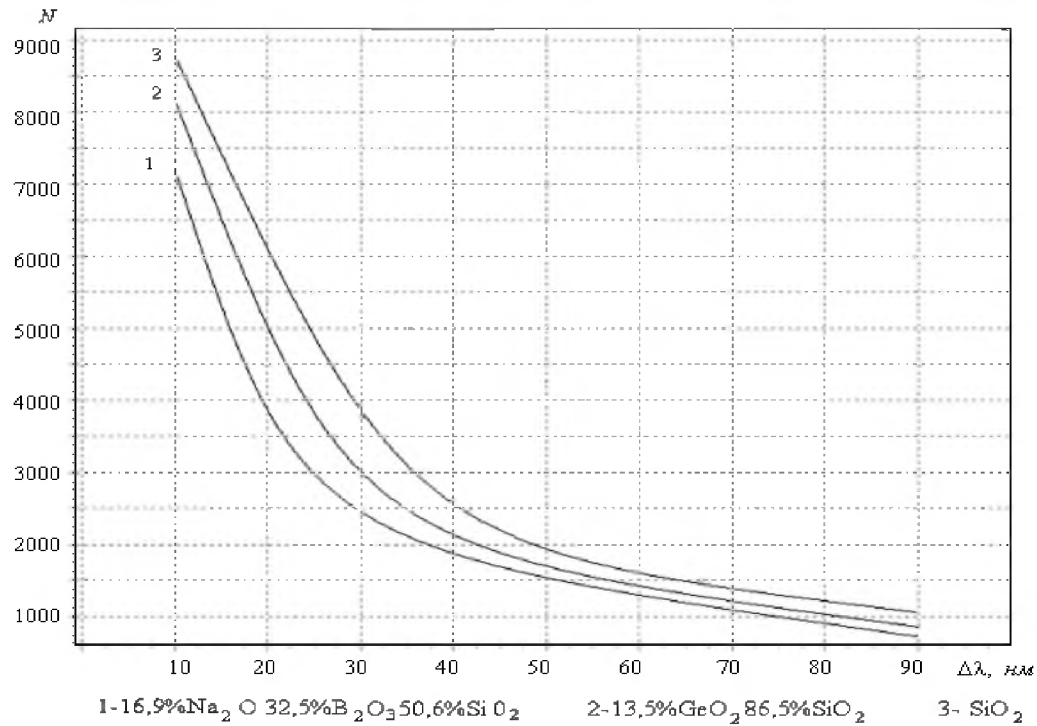


Рис. 2. Зависимости разности числа периодов рециркуляции N от разности длин волн двухволнового лазера $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ для различных типов оптических световодов

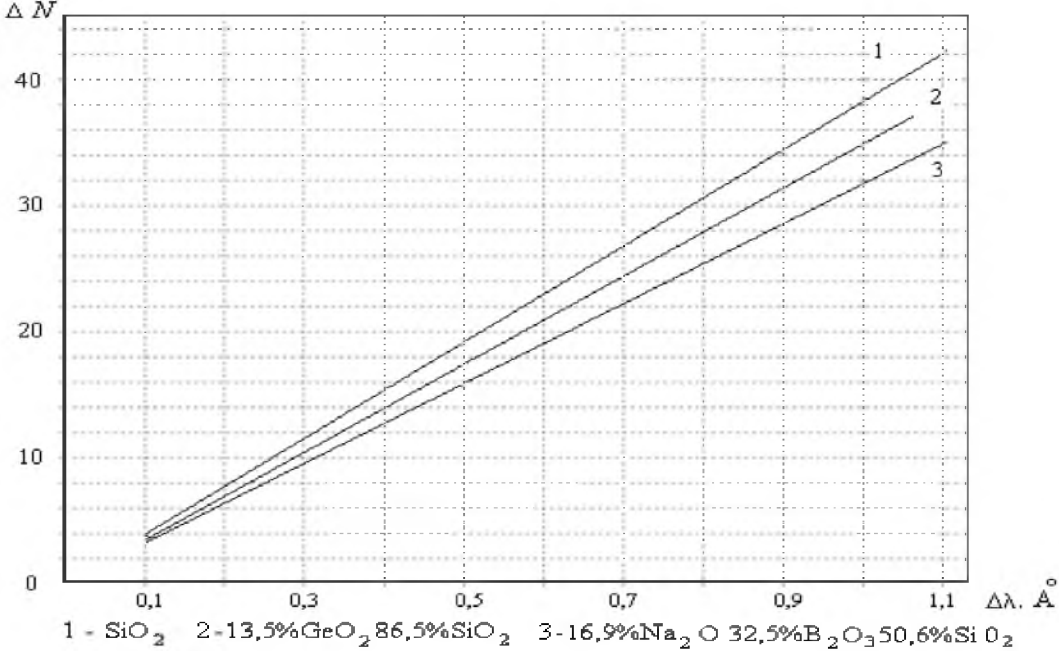


Рис. 3. Зависимости изменения числа периодов рециркуляции ΔN от изменения одной из длин волн генерации двухволнового лазера $\Delta\lambda$ для различных типов оптических световодов

D, пс/км нм

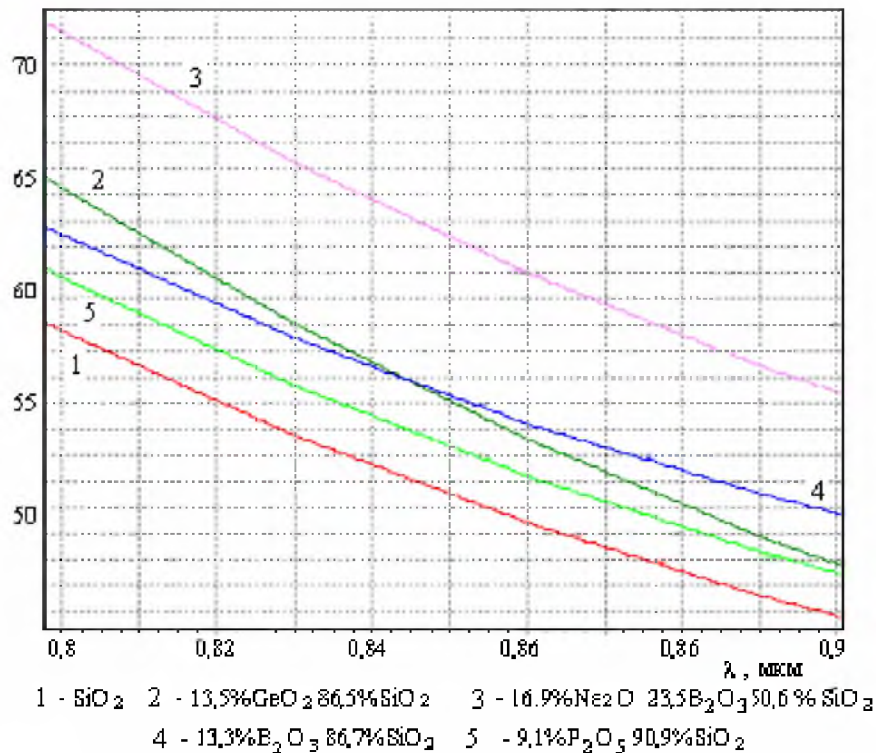


Рис. 4. Зависимости хроматической дисперсии от длины волны излучения для различных стекол

Для лазеров, описанных в [1], при длине световода в сотни метров, при $T \approx 10^{-7}$ с, для автоподстройки длин волн лазера потребуется $N = 10^4 \dots 10^5$ периодов рециркуляции. Следовательно, время автоподстройки будет равно 0.1...1 с.

Таким образом, реализация режима оптико-электронной рециркуляции одновременно на двух оптических длинах волн позволяет одновременно измерять две длины волны излучения и управлять каждой длиной волны генерации двухволнового лазера. При этом обеспечивается высокая точность и широкий диапазон измерений каждой из длин волн, а перестройка и управление длиной волны осуществляется путем изменения тока инжекции лазера.

Литература

1. Ikeda S., Shimizu A., Hara T. Asymmetric dual quantum well laser - wavelength switching controlled by injection current // Appl. Phys. Lett. 1991. Vol. 59, № 5. P. 504–507
2. Патент РФ №4388 Устройство измерения длины волны когерентного оптического излучения / В. Л. Козлов, С. И. Чубаров. Оpubл 22.11.2001.
3. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов. М.: Машиностр., 1970. 272 с.
4. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989. 52 с.