

Изобретение относится к квантовой электронике, в частности к лазерной технике и может быть использовано в спектральном приборостроении и оптической связи.

Известны многочастотные перестраиваемые лазеры [1, 2], которые содержат несколько селективных каналов в резонаторе, каждый из которых включает дисперсионный элемент и устройства механического поворота и может перестраиваться независимо.

Недостатками таких устройств являются громоздкость и высокая стоимость конструкции, низкая скорость и точность перестройки, связанные с применением механических систем поворота.

В качестве прототипа выбран многочастотный электронноперестраиваемый лазер [3], содержащий внутри резонатора акустооптический дефлектор, изменяющий угол падения волны на дисперсионный элемент. Многочастотный режим в нем реализуется в одноканальной схеме за счет возбуждения в одном звукопроводе нескольких (N) звуковых волн. Спектр лазера при этом обогащается дополнительными спектральными компонентами и становится неуправляемым. Многочастотная генерация может быть осуществлена только с использованием способа перестройки [4]. Лазер установкой определенных соотношений между интенсивностью звуковых решеток переводится в новый режим, в котором в генерацию выходят N спектральных компонент, одна из которых основная и N-1 дополнительных. Перестройка осуществляется в два этапа.

Прототип обладает высокими скоростью и прецизионностью перестройки, связанными с отсутствием механических систем поворота, простотой конструкции одноканального лазера, удобством управления от ЭВМ.

Недостатком этого устройства-прототипа является низкий КПД. Его уменьшение обусловлено увеличением потерь за счет вклада многофоновых процессов [5] и при разделении энергии на звуковых решетках, возбужденных в общем объеме, которые ослабляются при применении способа перестройки [4] только в прямом направлении. Недостатком является также изменение эффективности во всех каналах при изменении интенсивности только одной звуковой волны, что приводит к зависимости каналов друг от друга, которая только частично устраняется при использовании ориентированного алгоритма перестройки [4]. К тому же лазер достаточно сложен в управлении при увеличении числа компонент, так как требует ориентированного алгоритма перестройки вначале основной спектральной компоненты, затем подстройки длины волны остальных (дополнительных) и в заключении регулировки интенсивностей компонент.

Преимуществами заявляемого технического решения являются увеличение КПД лазера, расширение диапазона независимого управления интенсивностями спектральных компонент лазера и упрощение алгоритма перестройки.

Указанные преимущества достигаются тем, что в многочастотном перекрываемом лазере, содержащем внутри резонатора активную среду, автоколлимационный дисперсионный элемент и расположенный между ними акустооптический дефлектор с пьезопреобразователем, к которому подключен многочастотный УКВ генератор, предусмотрены следующие отличия: между активной средой и акустооптическим дефлектором введен дополнительный дисперсионный элемент, угловая дисперсия которого D равна угловой дисперсии автоколлимационного дисперсионного элемента, пьезопреобразователь выполнен таким образом, что нормаль к его поверхности параллельна одной из поворотных или зеркально-поворотных осей симметрии материала дефлектора, а длина пьезопреобразователя L в плоскости дисперсии автоколлимационного дисперсионного элемента удовлетворяет соотношению

$$L \geq b$$

где b является решением уравнения

$$\sum_{j=1}^N \frac{v}{b \lambda_j} \left( \frac{2 D v}{f_j} - 1 \right) = F_2 - F_1,$$

$$f_{j+1} = f_j + \kappa \frac{v}{b \lambda_j} \left( \frac{2 D v}{f_j} - 1 \right),$$

$$f_N = F_2, f_1 = F_1,$$

$$\lambda_{j+1} = \lambda_j + (f_{j+1} - f_j) \times$$

$$\times \frac{\lambda_j}{2 v (D - f_j (2 v)^{-1})},$$

где v - скорость звука в направлении нормали к пьезопреобразователю;

N - число спектральных компонент лазера;

F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> — граничные рабочие частоты пьезопреобразователя;

λ<sub>0</sub> - длина оптической волны из рабочего диапазона лазера.

Кроме того, в многочастотном перестраиваемом лазере акустооптический дефлектор выполнен из кристаллического материала, а нормаль к пьезопреобразователю параллельна к одной из кристаллографических осей материала дефлектора.

Кроме того, в многочастотном перестраиваемом лазере дисперсионные элементы установлены таким образом, что их угловые дисперсии в направлении от активной среды отрицательны.

Существенными отличительными признаками предлагаемого многочастотного лазера являются:

- изменение геометрии акустооптического взаимодействия акустооптического дефлектора внутри лазера в сравнении с традиционной за счет:

а) введения перед акустооптическим дефлектором дополнительного дисперсионного элемента с угловой дисперсией D, равной угловой дисперсии автоколлимационного элемента, расположенного за дефлектором;

б) установки акустооптического дефлектора в режиме изотропной дифракции (нормаль к поверхности пьезопреобразователя параллельна одной из поворотных или зеркально-поворотных осей симметрии материала дефлектора, а в случае кристаллического материала дефлектора - одной из его кристаллографических осей);

- обеспечены условия сильной селекции - каждая спектральная компонента взаимодействует в достаточно широком диапазоне только определенной звуковой решеткой, что достигается выбором длины пьезопреобразователя в плоскости сканирования дефлектора  $L \geq b$ , где  $b$  является решением уравнения 1;

- максимальная селективность резонатора лазера обеспечивается установкой дисперсионных элементов таким образом, что их угловые дисперсии в направлении от активной среды отрицательны.

Техническая сущность и принцип действия предложенного устройства поясняются графическими материалами и описанием конструкции.

На фиг. 1 представлена оптическая схема многочастотного перестраиваемого лазера; на фиг. 2 - геометрия акустооптического взаимодействия спектральных компонент в дефлекторе.

Многочастотный перестраиваемый лазер состоит из активной среды 1, дисперсионного элемента 2, акустооптического дефлектора 3, пьезопреобразователя акустооптического дефлектора 4, автоколлимационного дисперсионного элемента 5, зеркала 6, многочастотного генератора 7.

Перечисленные выше конструктивные элементы выполнены следующим образом.

Активной средой 1 является среда с широкой полосой люминесценции, применяемая в перестраиваемых лазерах, например, растворы органических соединений, кристаллы корунда с примесью ионов титана ( $Al_2O_3 : Ti^{3+}$ ), имеющие полосу люминесценции 600-1000 нм, активные среды на основе F центров и т. д. Роль дисперсионного элемента 2 может выполнять призма, дифракционная решетка, работающая на пропускание, или система, состоящая из нескольких дисперсионных элементов с угловой дисперсией. Акустооптическим дефлектором 3 может быть любой изотропный акустооптический дефлектор, например, выполненный из стекла с большой величиной константы фотоупругости (например плавный кварц и т. д.), кубического кристалла, анизотропного кристалла, в котором используется геометрия изотропной дифракции света на звуковой волне (молибдена свинца, парателлурита), жидкости и т. д. Пьезопреобразователь 4 выполнен из пьезоактивного материала, например, в форме пластины из ниобата лития, толщина которой выбирается таким образом, чтобы средняя частота настройки была равна примерно  $(F_2 + F_1)/2$  - средней рабочей частоте звука диапазона. Автоколлимационный дисперсионный элемент 5 может быть автоколлимационной дифракционной решеткой или комбинацией элемента, работающего на пропускание (призмы или решетки), и отражательного зеркала. Зеркало 6 стандартное, обычно с многослойным диэлектрическим покрытием, эффективно отражающее в рабочем диапазоне лазера. Многочастотный генератор 7 может представлять собой набор нескольких стандартных, выпускаемых промышленностью УКВ генераторов со смесителем, либо специально изготовленный многочастотный УКВ генератор.

Дисперсионные элементы 2 и 5 выполнены таким образом, что их угловые дисперсии одинаковы. Дисперсионный элемент 2 расположен между активной средой 1 и акустооптическим дефлектором 3. Дисперсионный элемент 5 расположен с другой стороны акустооптического дефлектора 3. Пьезопреобразователь 4 прикреплен к акустооптическому дефлектору 3 таким образом, что нормаль к его поверхности направлена вдоль одной из поворотных или зеркально-поворотных осей материала дефлектора (вдоль кристаллографической оси, если дефлектор выполнен из кристаллического материала). Многочастотный УКВ генератор 7 электрически соединен с пьезопреобразователем 4. Длина  $L$  пьезопреобразователя 4 в плоскости сканирования должна быть не менее  $b$  - предельной длины пьезопреобразователя, при которой существует возможность расположения в спектре лазера  $N$  спектральных компонент, когда эффективность преобразования дефлектором 3 каждой спектральной компоненты одинакова при одночастотном и  $N$ -частотном возбуждении дефлектора и изменение мощности любой из звуковых волн не влияет на эффективность преобразования других волн, кроме компоненты, связанной с изменяемой звуковой решеткой. Предельное значение  $b$  определяется из уровня 1. При  $L \geq b$  области независимого управления интенсивностями спектральных компонент лазера увеличиваются.

Дисперсионные элементы 2 и 5 расположены таким образом, что их угловые дисперсии в направлении от активной среды отрицательны (при уменьшении длины волны излучения излучение поворачивается по часовой стрелке). Это приводит к максимальной угловой дисперсии системы, образованной дисперсионными элементами 2, 5 и звуковой решеткой акустооптического дефлектора 3.

Многочастотный перестраиваемый лазер работает следующим образом.

На пьезопреобразователь 4 от многочастотного генератора 7 подается сложный УКВ сигнал, содержащий  $N$  частотный компонент. Это приводит к возбуждению в акустооптическом дефлекторе 3 распространяющихся вдоль нормали к пьезопреобразователю  $N$  звуковых волн. Активная среда 1 переводится в возбужденное состояние, что приводит к излучению фотонов различных длин волн из диапазона люминесценции активной среды 1 во всех направлениях. Часть фотонов распространяется вдоль оптической оси резонатора в направлении к дисперсионному элементу 2, на выходе которого излучение разных длин волн будет распространяться под различными углами. В акустооптическом дефлекторе излучение будет дифрагировать на  $N$  звуковых волнах с различной эффективностью. Далее излучение попадает на автоколлимационный дисперсионный элемент 5, где спектральные компоненты по разному изменяют углы распространения за счет угловой дисперсии. Затем излучение распространяется в обратном направлении, проходя последовательно дефлектор 3, дисперсионный элемент 2, активную среду 1, отражается от зеркала 6 и, попадая повторно в активную среду, замыкает обратную связь.

Эффективной будет дифракция излучения в прямом и обратном направлениях только для спектральных компонент с определенными длинами волн  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ , каждая из которых с наибольшей эффективностью будет взаимодействовать только с одной из звуковых волн, в частности, соответственно,  $f_1, f_2, \dots, f_N$ . Это определяется тем, что для эффективной дифракции необходима замкнутость треугольника Брегга, образованного тремя волновыми векторами (фиг. 2). Например, для спектральной компоненты с длиной

волны  $\lambda_1$  этот треугольник образован тремя волновыми векторами: падающей волны ( $k_{i1} = 2\pi/\lambda_1$ ), дифракционной волны ( $k_{s1} \approx 2\pi/\lambda_1$ ) и звуковой решетки  $k_1 = 2\pi f_1/v$ . Это возможно при одновременном выполнении следующих условий: углы  $\alpha_{i1}$ ,  $\alpha_{s1}$  одинаковы, что обеспечивается равенством угловых дисперсий дисперсионных элементов 2 и 5; длина волны  $\lambda_1$ , частота звука  $f_1$  и угол  $\alpha_{i1}$  связаны соотношением  $\sin \alpha_{i1} = k_1/(k_{i1}2) = f_1 \lambda_1/(2v)$ .

Так как длина волны  $\lambda$  спектральной компоненты и углы  $\alpha$  однозначно связаны в дисперсионных элементах 2,5, то длина волны однозначно определяется частотой звука.

Спектральная компонента с длиной волны  $\lambda_1$  не будет ощущать звуковых решеток с частотами  $f_j \neq f_1$  при условии, что угол  $\alpha_{i1}$  отличается от углов  $\alpha_{i1}$  не менее, чем на расходимость  $\beta_1$  звуковой волны в плоскости сканирования спектральных компонент дефлектором 3

$$\beta_1 = v/(f_1 L),$$

где  $L$  - длина пьезопреобразователя в плоскости сканирования 5.

Если  $L = b$ , где  $b$  является корнем уравнения 1, то существует однозначная конфигурация расположения  $N$  звуковых частот в пределах полосы пьезопреобразователя, когда различные спектральные компоненты не ощущают "чужих" звуковых решеток и эффективность их дифракции максимальна. В случае  $L > b$  область независимой дифракции на звуковых решетках расширяется, что позволяет увеличить область независимого управления компонентами при изменении звуковых частот. Аналогичная ситуация будет иметь место при уменьшении числа спектральных компонент по сравнению с  $N$ . Предложенный многочастотный перестраиваемый лазер обладает следующими техническими преимуществами:

1) Увеличен коэффициент полезного действия лазера. Это осуществляется за счет увеличения эффективности дифракции спектральных компонент на звуковых решетках акустооптического дефлектора 3. Так, для случая двух волн в случае использования способа перестройки [4] эффективность дифракции волн в направлении к решетке ослабляется незначительно, тогда как в обратном направлении уменьшается примерно на 50% для каждой спектральной компоненты. В случае трех спектральных компонент эта величина достигает уже 70% и т. д. В предлагаемом лазере существует целая область перестройки, в которой эффективность дифракции в многочастотном и одночастотном случае одинаковы.

2) Расширен диапазон независимого управления интенсивностями спектральных компонент, так как в предлагаемом лазере возникают области (когда углы распространения волн в дефлекторе 3 отличаются более, чем на расходимость звука), когда каждая спектральная компонента дифрагирует только на "своей" звуковой решетке, тогда как в прототипе каждая спектральная компонента при распространении в обратном направлении от дисперсионного элемента к активной среде претерпевает рассеяние и на других звуковых решетках, то есть эффективность дифракции спектральной компоненты зависит от мощности звука всех световых волн.

3) Упрощен алгоритм перестройки в многочастотном режиме, так отпадает необходимость поддержания определенных соотношений между энергиями звуковых волн и в последовательной перестройке компонент, то есть расположение каждой спектральной компоненты определяется частотой только одной звуковой решетки, а не двух, как при использовании способа перестройки 4.

4) Сужена линия генерации лазера и в менее, чем в два раза, так как угловые дисперсии вновь введенного дисперсионного элемента, автоколлимационного элемента и звуковой решетки дефлектора складываются, что пропорционально увеличивает селективность резонатора.

5) Упрощена конструкция блоков электронного управления лазером от ЭВМ.

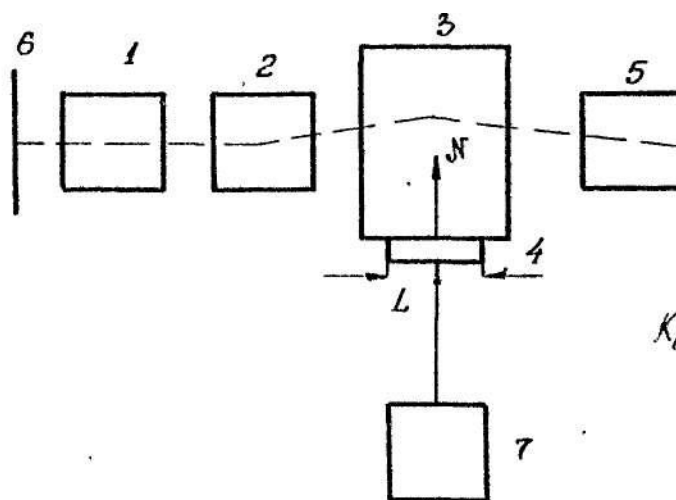


Рис. 1

