

Двухчастотная синхронизованная генерация в моноблочном GGG:Nd³⁺-лазере с диодной накачкой

Н.В.Бабурин, Б.И.Галаган, Ю.К.Данилейко, Н.Н.Ильичев, А.В.Масалов, В.Я.Молчанов, В.А.Чиков

Экспериментально продемонстрирована синхронизация двух взаимно ортогонально поляризованных мод твердотельного непрерывного GGG:Nd³⁺-лазера с диодной накачкой. Синхронизация осуществляется радиосигналом на частоте межмодовых биений.

Ключевые слова: синхронизованная генерация, моноблочный GGG:Nd³⁺-лазер, диодная накачка.

В работе [1] была продемонстрирована возможность получения двухчастотной генерации на двух ортогонально поляризованных аксиальных модах в твердотельном YAG:Nd³⁺-лазере с разностной частотой, синхронизованной внешним радиочастотным сигналом с частотой 23 МГц. Было показано, что синхронизация разностной частоты возможна в некотором достаточно узком интервале расстроек частоты межмодовых биений от частоты внешнего сигнала. При этом с увеличением расстройки наблюдался уход фазы межмодовых биений относительно фазы модулирующего сигнала.

Однако в работе [1] получить стабильную работу лазера в режиме синхронизации межмодовых биений не удалось. В качестве причины нестабильности выдвигалось предположение об уходе частоты генерирующих поляризационных мод из-за термической и акустической нестабильности резонатора лазера с ламповой накачкой, приводящем к недопустимо большой расстройке частоты межмодовых биений относительно частоты синхронизирующего сигнала.

Цель настоящей работы – получение стабильной синхронизации межмодовых биений внешним радиочастотным сигналом. Поставленная задача решалась с помощью диодной накачки, термостабилизации моноблочного резонатора и защиты последнего от внешних акустических воздействий.

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. Резонатор лазера образован двумя плоскими зеркалами 1 и 2. Выходное дихроичное зеркало 1 имело коэффициент отражения ~90 % на длине волны генерации и коэффициент пропускания не менее 80 % на длине волны накачки. Коэффициент отражения глухого зеркала 2 составлял не менее 98 %.

В качестве активной среды в лазере использовался плоскосферический кристалл GGG:Nd³⁺ 3 толщиной порядка 3 мм с концентрацией неодима ~2 %. На плоскую поверхность кристалла напылялось выходное зеркало, а его сферическая сторона, имевшая радиус кривизны 50 см, механически прижималась к плоской поверхности акустооптического модулятора 4. Прижатие осуществ-

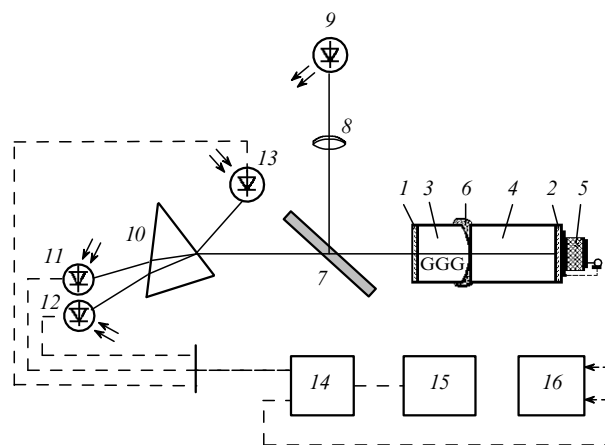


Рис.1. Экспериментальная установка для исследования процесса синхронизации:

1 – выходное зеркало; 2 – глухое зеркало; 3 – активный элемент; 4 – акустооптический модулятор; 5 – излучатель ультразвука; 6 – место склейки двух оптических элементов; 7 – делительное зеркало; 8 – фокусирующий объектив; 9 – диодный лазер накачки; 10 – призма из исландского шпата; 11–13 – лавинные фотодиоды; 14 – смеситель; 15 – цифровой осциллограф; 16 – генератор модулирующего напряжения с частотой 19.3 МГц.

лялось при нанесении на периферийную часть активного элемента и модулятора полимеризирующегося клея 6, усадка которого при полимеризации обеспечивала прочное механическое соединение активного элемента и модулятора. Радиус кривизны контактной поверхности выбирался из условия, чтобы интерференционные эффекты в зазоре приводили к дополнительной селекции поперечных мод в резонаторе.

Акустооптический модулятор был выполнен из кристалла CaMoO₄, вырезанного вдоль оптической оси. На одну из торцевых поверхностей этого кристалла наносилось глухое зеркало лазера, а на наружную сторону напылялась металлическая пленка, выполнявшая роль одного из электродов пьезоакустического излучателя звука 5.

При питании модулятора переменным напряжением с частотой 19.3 МГц от генератора 16 модулятор работал в режиме коллинеарной дифракции света для излучения с длиной волны 1.062 мкм. При этом дифрагирующая компонента сдвигалась по частоте на 19.3 МГц и меняла

направление поляризации на 90° . Для увеличения эффективности дифракции длина кристалла в модуляторе выбиралась из условия акустического резонанса и была близка к 7 мм. Отметим, что толщина активного элемента подбиралась из условия минимального снижения эффективности дифракции за счет влияния механического контакта модулятора с активным элементом на акустический резонанс модулятора.

Для изменения собственных частот поляризационных мод лазера в резонатор за счет электрооптического эффекта в кристалле акустооптического модулятора 4 вводилась регулируемая поперечная анизотропия. Для этого к двум противоположным боковым поверхностям кристалла крепились токопроводящие электроды, на которые подавалось постоянное (или медленно меняющееся по сравнению с частотой модуляции) напряжение, обеспечивающее регулируемое двулучепреломление.

Исследуемый лазер крепился на массивной медной теплоизолированной амортизированной платформе. Его накачка осуществлялась излучением диодного лазера 9 мощностью до 0.8 Вт через поворотное дихроичное зеркало 7, потери излучения на котором не превышали 10%. Для формирования излучения накачки использовался двухлинзовый объектив 8 с фокусным расстоянием $F = 15$ мм, с помощью которого в активной среде формировался пучок с поперечным размером 200–300 мкм в перетяжке. Настройка диодного лазера на максимум поглощения в активной среде осуществлялась путем изменения его температуры с помощью холодильника-нагревателя на эффекте Пельтье.

Выходное излучение моноблочного лазера проходило через поворотное зеркало и затем с помощью призмы 10 из исландского шпата расщеплялось на два пучка со взаимно перпендикулярными поляризациями. Для регистрации генерируемого излучения использовались три лавинных фотодиода, два из которых (11, 12) устанавливались в пучки после расщепления по поляризации, а один (13) – в суммарный пучок. Сигналы от фотодиодов поочередно подавались на смеситель 14, где смешивались с высокочастотным электрическим сигналом питания акустооптического модулятора, после чего выделялся сигнал вблизи нулевой частоты в полосе ~ 100 кГц. Выходной сигнал со смесителя усиливался и записывался цифровым осциллографом.

Настройка лазера осуществлялась следующим образом. На акустооптический затвор подавалось высокочастотное питание и одновременно с ним на электроды электрооптического модулятора – постоянное напряжение. Последнее тщательно подбиралось по максимуму сигнала биений на выходе смесителя и стабилизировалось. Затем блок, включающий расщепляющую призму и фотодиоды, поворачивался вокруг оптической оси лазера до сведения к минимуму сигнала биений от фотодиодов 11, 12.

При повороте на 360° таких минимумов и максимумов наблюдалось четыре, что совпадало с данными ра-

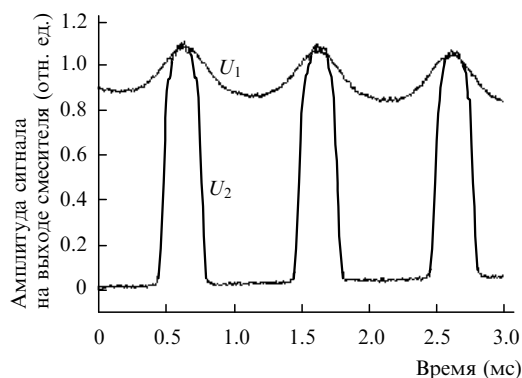


Рис.2. Осциллограмма амплитуды сигнала на выходе смесителя для двух амплитуд ($U_1 < U_2$) синусоидального напряжения с частотой 1 кГц на электродах электрооптического модулятора.

боты [1]. Этот факт свидетельствует о работе лазера на двух поляризационных модах, сдвинутых по частоте относительно друг друга на частоту модулирующего сигнала. Однако, в отличие от [1], такой режим работы наблюдался достаточно стабильно в течение длительного промежутка времени (от единиц до нескольких десятков секунд). Как и в работе [1], сигнал биений исчезал при выключении акустооптического модулятора и наблюдался в ограниченном интервале наведенного двулучепреломления в электрооптическом модуляторе.

На рис.2 показано изменение амплитуды сигнала биений при подаче на электрооптический модулятор дополнительного (к постоянному напряжению) синусоидального напряжения с частотой 1 кГц с двумя различными амплитудами. Подстройка постоянного напряжения осуществлялась по исчезновению провала в области максимумов на кривых (иными словами, по максимуму амплитуды биений при прохождении через максимум амплитуды промодулированного напряжения на электрооптическом модуляторе). На кривой $U_2(t)$ виден срыв синхронизированной генерации при увеличении амплитуды модуляции (область сигнала, близкая к нулю), что указывает на существование этого режима лишь в некоторой области наведенной анизотропии в резонаторе.

Таким образом, в твердотельном лазере возможна стабильная синхронизованная внешним сигналом двухчастотная генерация на двух ортогонально поляризованных модах. Описанная синхронизация реализуется в случае приблизительного совпадения частоты внешней модуляции с частотой межмодовых биений двух поляризационных мод лазера.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.И.Ивлевой за предоставление кристалла CaMoO_4 для изготовления акустооптического модулятора. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ (грант № 98-02-16665).

1. Галаган Б.И., Данилейко Ю.К., Ильичев Н.Н., Масалов А.В., Молчанов В.Я., Чиков В.А. *Квантовая электроника*, 30, 806 (2000).