

07

© 1990

ПАССИВНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД
В ЛАЗЕРЕ С НЕВЗАИМНЫМ НЕЛИНЕЙНЫМ
ПЕТЛЕВЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМА.Г. Булушев, Е.М. Дианов,
О.Г. Охотников

Существенно уменьшить длительность импульсов возможно добавлением к лазеру с синхронизацией мод внешнего нелинейного резонатора. Примером такого лазера является солитонный лазер [1], в котором в качестве нелинейной среды внешнего резонатора используется оптическое волокно. В ряде теоретических и экспериментальных работ [2-4] показано, что солитонный лазер представляет собой частный случай двухрезонаторных систем с нелинейным внешним резонатором, в которых улучшение синхронизации мод возможно и в отсутствие солитонного характера распространения оптического импульса. В этом случае наличие дисперсии определенной величины и знака не является принципиальным [4]. Поскольку фаза излучения, вернувшегося из внешнего резонатора, зависит от мощности, расстройкой длин резонаторов вблизи точки синхронизма достигается условие, когда конструктивная интерференция имеет место лишь для пиковой мощности импульса, в то время как крылья импульса разрушаются. Серьезной проблемой лазеров со связанными резонаторами является стабилизация оптических длин резонаторов вблизи точки синхронизма [5].

В настоящей работе предложена схема лазера с нелинейным волоконно-оптическим резонатором, реализующая интерференционное сжатие импульса, в которой интерферирующие импульсы автоматически находятся в синхронизме. Оптическая схема лазера представлена на рис. 1. Лазер состоит из активной среды и нелинейного волоконного петлевого отражателя (ВПО) с несимметричным ответвителем. При учете нелинейности в таком ВПО излучения, распространяющиеся в противоположных направлениях, набирают (вследствие отличия в мощностях) различные фазы. Таким образом, фазовая самомодуляция приводит к уменьшению отражения ВПО с ростом интенсивности. Введение невзаимного элемента в ВПО позволяет создать отличие в набегах фазы у встречных излучений даже в линейном случае, т.е. при малых интенсивностях, когда фазовой самомодуляцией можно пренебречь. Если невзаимная разностная фаза Φ не превышает π и противоположна по знаку нелинейной разностной фазе, то излучение с большей мощностью имеет больший коэффициент отражения из ВПО, что приводит к положительной обратной связи. Невзаимная фаза может возникать при вращении ВПО, либо вводиться иными способами, например, вследствие эффекта Фарадея или за счет внесения внутрь ВПО несимметрично расположенного фазового модулятора.

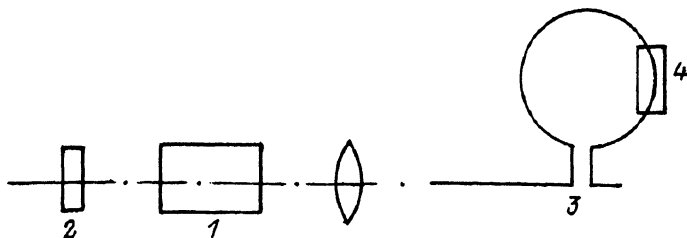


Рис. 1. Схема лазера: 1 - активный элемент, 2 - 100%-зеркало, 3 - петлевой одномодовый волоконный отражатель, образованный направленным ответвителем с коэффициентом деления 0.42/0.58, 4 - невзаимный элемент.

Распространение излучения в волокне будем описывать нелинейным уравнением Шредингера в бегущих координатах $\eta = t - z/v$:

$$\partial A_f / \partial z - i 0.5 k_2 \partial^2 A_f / \partial \eta^2 + i \beta_1 |A_f|^2 A_f = 0,$$

где v - групповая скорость, параметр k_2 учитывает линейную дисперсию среды во втором приближении, β_1 - нелинейный коэффициент, а $A_f(t)$ - амплитуда излучения, распространяющегося внутри ВПО в одном из направлений и связанная через амплитудные коэффициенты прохождения τ или перекачки ρ ответвителя с амплитудой $A(t)$ входного излучения [6]. Амплитудные коэффициенты отражения $R = i \rho \tau (1 + \zeta) \exp i \xi$ и пропускания $T = (\tau^2 \zeta - \rho^2) \exp i \zeta$ ВПО выражаются через набег фазы ξ в волокне и фактор ζ , характеризующий невзаимность.

Рассматривая в дальнейшем случай нулевой дисперсии $k_2 = 0$, представим фазу $\xi = -\beta_1 \rho^2 |A|^2 L + \xi_0$ и фактор $\zeta = \exp i (\phi - \beta_1 (\tau^2 - \rho^2) \times |A|^2 L)$, где L - длина петли, а ξ_0 - линейная фаза. Активный элемент связывает Фурье-компоненты $A^n(\omega)$ амплитуды на каждом проходе: $A^{n+1} = b \alpha / (1 + (\omega/\Delta\omega)^2) A^n$. Для активных сред с однородным уширением представим насыщение в виде $b = 1 / (1 + \varepsilon I)$, где $I = \int |A|^2 dt$, а ε , α , $\Delta\omega$ - факторы насыщения, усиления и ширина полосы соответственно. Наиболее эффективную положительную обратную связь из ВПО можно получить, когда $\phi = \pi$, а длина L выбрана такой, что для пиковой интенсивности импульса $\zeta = 1$. В этом случае при малых мощностях излучения, в частности на крыльях импульса, отражение из ВПО отсутствует, а для центра импульса оно максимально. Чтобы генерация развивалась из шумового излучения малой интенсивности, необходимо создать ненулевую добротность при малых мощностях, для чего ϕ должна быть несколько меньше π .

На рис. 2, а показан процесс развития генерации из шумов при пассивной синхронизации мод нелинейным ВПО с параметрами: $\rho^2 = 0.42$, $\alpha = 10.6$, $\Delta\omega = 6$, $\varepsilon = 1.8$, $k_2 = 0$, $\beta_1 = 1$, $L = 0.25$, $\phi = 0.93\pi$. Для разрушения неустойчивых состояний фазовые и амплитудные шумы добавлялись при каждом проходе излучения через резонатор.

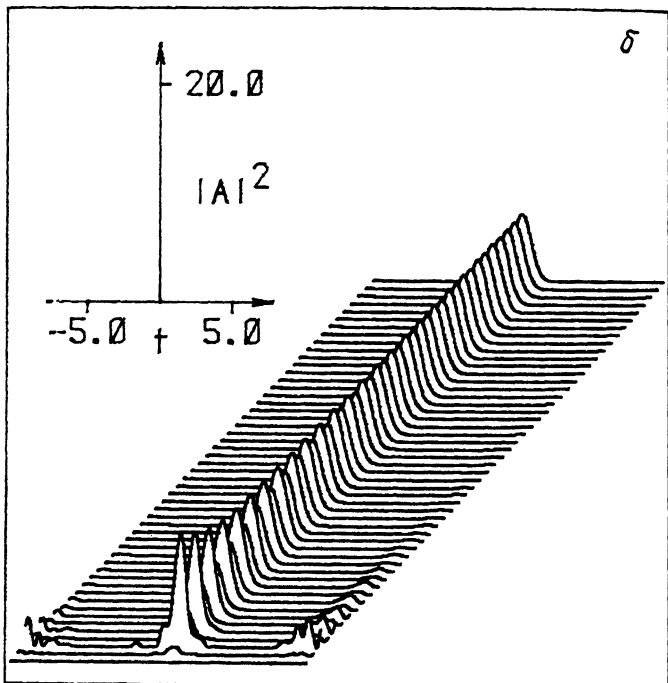
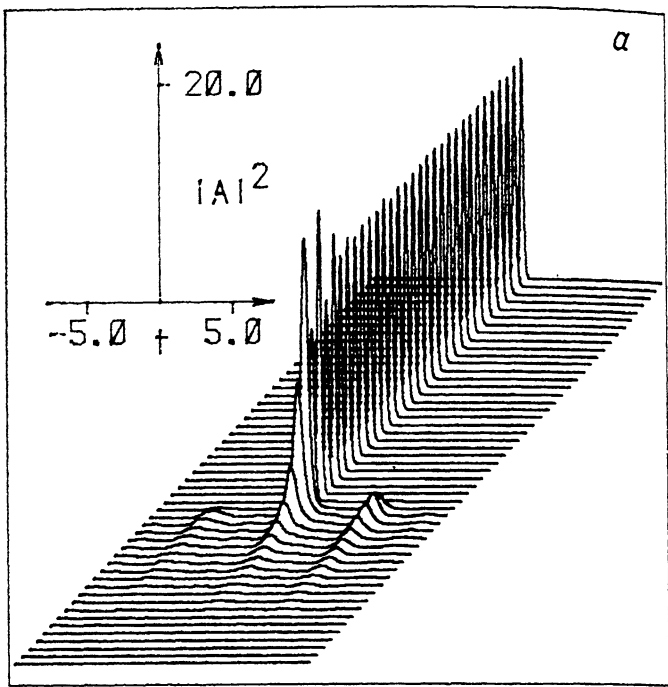


Рис. 2. Эволюция выходного импульса лазера, развивающегося из случайного шума для: а - пассивной синхронизации мод с величинам ВПО, б - активной синхронизации мод с дискретным зеркало без нелинейности.

Выход на стационарный режим происходил примерно за 28 проходов. Для сравнения на рис. 2, б приведена эволюция генерации при замене нелинейного ВПО на 100% зеркало, включении активной синхронизации мод с индексом модуляции 1.0 и исключении всех шумов, кроме затравочных. По сравнению с нелинейной пассивной синхронизацией мод, импульс, полученный в последней схеме, имеет существенно большую длительность и меньшую пиковую мощность.

Аналогичные расчеты для активной среды с неоднородно уширенной линией показали, что и в этом случае наиболее оптимальная активная синхронизация мод дает худшие результаты как по скорости выхода на стационарный режим, так и по ширине импульса по сравнению с пассивной синхронизацией нелинейным ВПО.

Численный анализ с учетом дисперсии групповой скорости в волокне показал, что в широком диапазоне значений и произвольном знаке k_2 разрушения режима пассивной синхронизации мод не происходит.

Таким образом, в данной работе предложена однорезонаторная схема лазера с пассивной синхронизацией мод, осуществляемой нелинейно-оптическим интерферометром – волоконным петлевым отражателем. Описанный метод синхронизации, в отличие от систем с инжекцией дополнительного импульса из внешнего резонатора, свободен от проблем, возникающих при поддержании синхронизма связанных резонаторов, и особенно перспективен для генерации коротких импульсов в волоконных лазерах. Поскольку параметры оптического импульса зависят от невязанной фазы, такой лазер, включенный в измерительную схему, может служить датчиком магнитного поля или использоваться для регистрации вращения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] M o l l e n a u e r L.F., S t o l e n R.H. // Opt. Lett. 1984. V. 9. P. 13-15.
- [2] B l o w K.J., W o o d D. // J. Opt. Soc. Amer. B. 1988. V. 5. P. 629-632.
- [3] M a r k J., L i u L.Y., H a l l K.L., H a u s H.A., I p p e n E.P. // Opt. Lett. 1989. V. 14. P. 48-50.
- [4] B l o w K.J., N e l s o n B.P. // Opt. Lett. 1988. V. 13. P. 1026-1028.
- [5] M i t s c h k e F.M., M o l l e n a u e r L.F. // IEEE J. Quantum Electron. 1986. V. QE-22. P. 2242-2250.
- [6] B u l u s h e v A.G., G u r o v Y.V., D i a n o v E.M., K u z n e t s o v A.V., O k h o t n i k o v O.G., P a r a m o -

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
3 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 11 12 июня 1990 г.

03; 04

© 1990

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРАТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА

В.Л. Г о р я ч е в, А.С. Р е м е н н ы й,
Н.А. С и л и н

До настоящего времени известны два способа получения гидратированных электронов – в результате радиолиза воды и водных растворов при облучении потоками либо γ -квантов, либо электронов [1, 2]. При этом объем, в котором образуются гидратированные электроны, весьма ограничен и концентрация полученных электронов неоднородна.

В работе представлены результаты эксперимента, в котором гидратированные электроны получают с помощью импульсного высоковольтного разряда. На электроды разрядной камеры, представляющие собой систему острие–плоскость, подавались импульсы напряжения амплитудой $U=20-50$ кВ, длительностью $\tau=1-2$ мкс. Частота следования варьировалась в пределах 1–100 Гц. Измерения тока и напряжения осуществлялись по дифференциальной схеме электронными осциллографами.

Методика экспериментального определения концентрации гидратированных электронов основывалась на их свойстве поглощать излучение в спектральном интервале (500–850) нм. В качестве источника монохроматического излучения использовался лазер типа ЛГ-36 ($\lambda=632.8$ нм, $W=2$ мВт). Излучение, прошедшее через разрядную камеру, детектировалось фотодиодом типа ФД-263. Для устранения влияния электрических наводок на результаты измерений детектор размещался на расстоянии 5 м от разрядной камеры. Излучение на детектор подавалось с помощью волоконного световода.

На рис. 1 представлены типичные осциллограммы, характеризующие ослабление лучистого потока при воздействии импульсного электрического разряда на исследуемый объем воды. Различные амплитуды соответствуют разным расстояниям от оси разряда. С целью проверки влияния примесей, содержащихся в воде, на ве-