

# Генерация импульсов с высокой частотой повторения и перестройкой длины волны на основе неустойчивости усиления в полупроводниковом волоконном лазере

А.В. Иваненко<sup>1,2,\*</sup>, А.Е. Беднякова<sup>1</sup>, С.В. Смирнов<sup>1</sup>, А.А. Рыбак<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

\*E-mail: ivanenko.aleksey@gmail.com

DOI:10.31868/RFL.2024.42-43

Неустойчивости часто ассоциируются с нежелательными эффектами, которые следует избегать или подавлять. Однако неустойчивости могут играть конструктивную роль, позволяя достичь стабильных самоподдерживающихся колебаний с контролируемой частотой [1-3]. Использование таких управляемых неустойчивостей в лазерах позволяет отказаться от модуляторов и насыщающихся поглотителей, которые традиционно используются для создания и поддержания стационарной генерации импульсов.

В данной работе мы впервые демонстрируем возможность перестройки длины волны излучения высокочастотной импульсной генерации в результате неустойчивости усиления в цельноволокном лазере с полупроводниковым оптическим усилителем (SOA) с положительной и отрицательной оптической обратной связью. Детальное описание метода создания импульсной высокочастотной генерации на основе неустойчивости усиления в полупроводниковом оптическом усилителе за счёт кросс-модуляции приведено в работе [1]. При таком подходе, как было нами показано, при определенных частотах непрерывная генерация становится неустойчивой, и непрерывная волна распадается на импульсы с частотой, соответствующей максимальному значению спектра неустойчивости усиления. Финальная частота следования генерируемых импульсов определяется как максимумом пропускания промодулированной кривой усиления (частотами модуляции усиления, которые зависят от коэффициента связи отрицательной и положительной петель и разности длин оптических путей этих петель), так и частотами, соответствующими интервалам продольных мод лазера. Эти факторы позволяют воспроизводимо генерировать стабильные импульсы с точно определенными частотами повторения.

Целью данной работы являлось исследование возможностей перестройки по длине волны при таком подходе. Схема волоконного лазера представлена на рис. 1. Резонатор состоит из коммерческого волоконного полупроводникового усилителя SOA1013 (Thorlabs), циркулятора, переменного электронно-управляемого ответвителя (WEOS), который образует вместе с циркулятором положительную и отрицательную петли обратной связи. Также в резонатор между циркулятором и WEOS установлен переменный механически управляемый фильтр EXFO XTM-50, который позволяет задавать центральную длину волны генерации. Полоса перестройки переменного фильтра составляет от 1480 нм до 1620 нм. Ширина полосы пропускания фильтра составляет 0.65 нм. Контролируя подаваемое напряжение на WEOS, можно задавать коэффициент деления переменного ответвителя и тем самым получать различные коэффициенты положительной и отрицательной обратной связи.

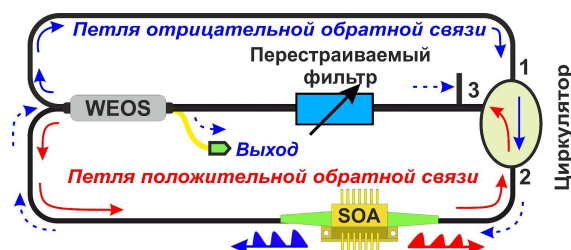


Рис. 1. Схема лазера: SOA – полупроводниковый оптический усилитель, WEOS – электронно управляемый переменный ответитель.

В нашей экспериментальной конфигурации реализовывалась генерация импульсов с частотой повторения 0,6 ГГц (рис.2а).

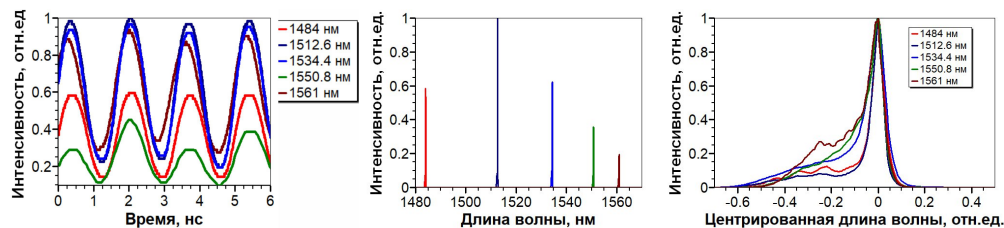


Рис. 2. а) Осциллограмма импульсов при разной центральной длине волны пропускания переменного фильтра; б) перестройка длин волн импульсной генерации и (б) центральные длины волн спектров импульсной генерации при разной заданной центральной длине волны пропускания фильтра.

В зависимости от установленной длины волны пропускания переменного фильтра возможно было перестраивать центральную длину волны импульсной генерации в диапазоне от 1484 нм до 1561 нм (рис. 2б). Вне этого диапазона импульсная генерация срывалась и переходила в непрерывную генерацию.

Амплитуда импульсов и наблюдаемых оптических спектров на соответствующих длинах волн генерации (рис. 2в) соответствовала контуру усиления полупроводникового усилителя. Максимальная мощность и амплитуда импульсов наблюдались на длинах волн в районе 1515 нм, что соответствует максимуму усиления полупроводникового усилителя. Ширина линии генерации на полувысоте при любой заданной длине волны в режиме импульсной генерации составляла менее 0.1 нм. Оптические спектры снимались с разрешением 0.02 нм. В оптическом спектре наблюдался затянутый фронт в коротковолновой области, что связано с особенностями усиления излучения в полупроводниковом усилителе [4].

Данный метод отличается простотой, компактностью и энергоэффективностью по сравнению с техниками активной модуляции, обычно используемыми для генерации высокочастотных импульсов в лазерах на основе SOA. При этом установка переменного фильтра позволяет перестраивать центральную длину волны генерации в широком диапазоне от 1484 до 1561 нм без срыва импульсной генерации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-12-00314).

## Литература

- [1] Smirnov, S., Nyushkov, et al, *Optics Letters*, **48(23)**, 6084-6087 (2023)
- [2] Tarasov, N., Perego, et al. *Nature communications*, **7(1)**, 12441 (2016)
- [3] Nyushkov, B., Ivanenko, A., et al *Optica*, **10(8)**, 1029-1036 (2023)
- [4] Bednyakova, A., Khudozhitkova, D., et al *Opt. Lett.* **46**, 4757-4760 (2021)