

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ КВАНТОВОГО УСИЛИТЕЛЯ

К.И.Земсков, М.А.Казарян, С.Ф.Люксютов¹⁾, С.Г.Одулов¹⁾,
Н.Г.Орлова, Г.Г.Петраш, М.С.Соскин¹⁾

Предложено и экспериментально реализовано последовательное усиление в голографическом и квантовом усилителях слабого светового сигнала с начальной интенсивностью ниже шума активного элемента лазера.

Для усиления световых пучков широко применяются в настоящее время квантовые усилители, использующие стимулированное излучение в средах с инверсной населенностью. Усилители на основе активных сред лазеров на парах металлов, обладая значительными коэффициентами усиления, повышают яркость слабого входного сигнала в $10^3 - 10^4$ раз. Это дает возможность использовать эти среды в качестве усилителей яркости в оптических системах¹. Шумы усилителей такого типа обусловлены спонтанным излучением на лазерном переходе. Минимальная величина входных шумов составляет примерно один фотон на моду. Из-за возможных светорассеяний в оптических системах, использующих усилители яркости, реальная величина входного шума может быть больше этого собственного шума усилителя.

Другая возможность повышения яркости световых пучков, основанная на иных физических принципах, связана с использованием усиления при когерентном вырожденном по частоте четырехволновом взаимодействии. Один из вариантов такого усилителя основан на смещении сигнальной волны с более интенсивной когерентной ей волной накачки в фоторефрактивных кристаллах (ФРК) с нелокальным откликом², в которых решетка показателя преломления смещена относительно интерференционного поля на четверть периода, что позволяет осуществить когерентное усиление слабой сигнальной волны за счет волны накачки без крупномасштабных искажений волнового фронта. ФРК позволяет также усиливать световые сигналы в широком спектральном диапазоне. Такие голографические усилители для лучшего на сегодняшний день фоторефрактивного кристалла BaTiO_3 могут обеспечить значительное повышение яркости (в $\sim 4 \cdot 10^3$ раз даже для слабых непрерывных световых пучков с интенсивностью 10^{-8} Вт/см²³).

В настоящей работе показана возможность усиления когерентного сигнала с интенсивностью ниже реального шума активного элемента на парах меди за счет использования когерентного голографического предусилителя на фоторефрактивном кристалле ниобата бария-натрия (НБН). Для экспериментов был выбран активный элемент промышленного усилителя УЛ-102, в конструкции которого предусмотрены специальные меры, существенно уменьшающие интенсивность паразитного рассеянного света на входе в усилитель.

Схема эксперимента показана на рисунке. Сигнальный пучок направлялся в предусилитель, в который вводился также когерентный пучок накачки. Выходной пучок попадал далее в активный элемент УЛ-102 (частота повторения импульсов 10 кГц, рабочие длины волн 0,51 мкм и 0,58 мкм¹) для дальнейшего усиления. В случае усиления изображений транспарантов, на пути сигнального пучка устанавливались дополнительные оптические элементы.

Сигнальный пучок и пучок когерентной накачки для предусилителя формировались из выходного излучения вспомогательного лазера, использующего тот же активный элемент с парами меди 1, что и для усиления. Для улучшения пространственной когерентности лазерного пучка использовался телескопический неустойчивый резонатор, образованный зерка-

лами 2 и 4 с фокусными расстояниями 250 см и 2 – 1,5 см, внутрь которого помещалась диафрагма 3 диаметром 0,3 см. Временная и пространственная когерентность излучения такого лазера достаточна для записи динамических решеток и усиления пучков в кристаллах НБН⁴.

При помощи зеркал 5, 8, 9, 10, 11 пучки накачки и сигнала сводились в образце кристалла НБН 15, оптическая ось которого ориентировалась в плоскости схождения пучков. В ФРК записывалась динамическая решетка пропускающего типа с волновым вектором k , приблизительно параллельным оси C . После диафрагмы 6 излучение направлялось на диспергирующую призму 7, выделявшую из пучка генерации зеленую линию. Призмы Глана 12, 13 селективировали поляризацию падающих пучков так, чтобы возбудить в кристалле необыкновенные волны. Для управления интенсивностью входного сигнального пучка вводился набор светофильтров 14. Усиленный в ФРК пучок при помощи зеркал 16, 17 снова направлялся в активную среду 1, усиливался в ней и выводился зеркалом 18 для визуального наблюдения на экране 19, либо регистрировался фотодиодом 20 и осциллографом 21 (С1-75).

В описанной схеме было экспериментально получено усиление пучка света, мощность которого на входе голографического усилителя была меньше шумов активного элемента 1.

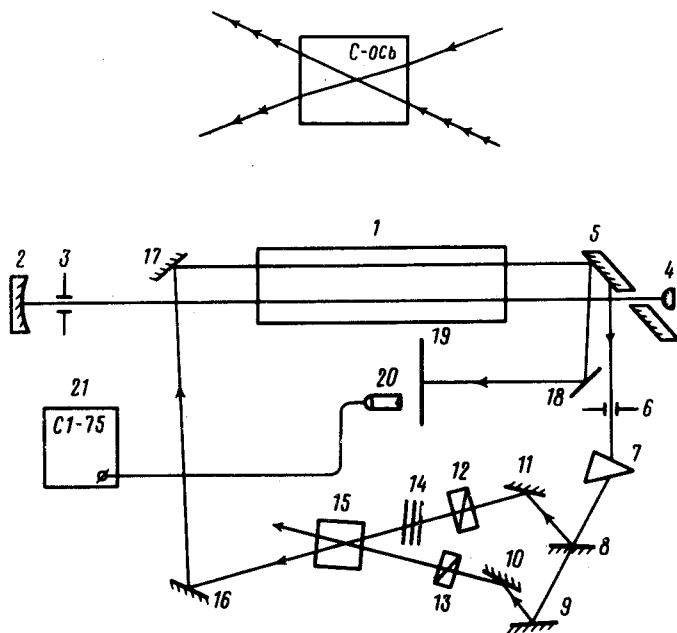


Схема эксперимента

При перекрытом опорном пучке на ФРК интенсивность входного сигнального пучка ослаблялась фильтрами 14 до тех пор, пока на экране 19 коллимированный усиленный пучок не исчезал на фоне шумового излучения активной среды 1. Включение пучка накачки, т. е. введение дополнительного предусиления, приводило к появлению на экране отчетливо видимого усиленного пучка. При количественных измерениях критерием регистрируемости выходного сигнала принималось 20 %-ное превышение сигнала по сравнению со средним шумовым уровнем.

Показано, что двухкаскадная система позволяет усиливать сигнал с интенсивностью $3 \cdot 10^{-7}$ Вт/см², в то время как без предусилителя минимальная интенсивность входного сигнала была не ниже $2 \cdot 10^{-6}$ Вт/см². Эти данные относятся к исходному сигнальному пучку с расходимостью $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ рад, после ФРК расходимость увеличивалась приблизительно вдвое. Полное усиление двухкаскадного усилителя составляло 270 раз.

Возможность снижения минимального регистрируемого сигнала в описанной схеме непосредственно связана с отличительными свойствами усилителей на ФРК. Шумы в ФРК по происхождению принципиально отличаются от шумов квантовых усилителей. Фактором шума здесь являются фотоны, рассеянные от волны накачки в направлении сигнальной волны. Обычной причиной появления шума является рассеяние на объемных оптических неоднородностях образца и на дефектах обработки поверхности. Этот источник может быть минимизирован технологическими приемами. Причиной шума фундаментального характера является рассеяние на тепловых флуктуациях объемного заряда (на неоднородностях в заполнении ловушек носителями заряда). И в первом и во втором случаях интенсивность шума линейно зависит от интенсивности волны накачки.

Другая отличительная особенность усилителей на ФРК состоит в том, что экспоненциальный коэффициент усиления в них в широких пределах изменения интенсивности волны накачки остается постоянным². В связи с этим интенсивность шума может быть значительно ослаблена за счет уменьшения интенсивности волны накачки. Возможности уменьшения шума связаны с необходимостью выполнения двух условий: интенсивность волны накачки всегда должна быть больше интенсивности сигнальной волны, кроме того, она должна быть достаточно велика, чтобы обеспечить разумное быстродействие усилителя (время диэлектрической релаксации, определяющее время релаксации нелинейности, увеличивается с уменьшением интенсивности света).

Исследования предельных шумовых характеристик процессов нелинейного квазивырожденного по частоте четырехволнового взаимодействия представляет собой самостоятельную практически неразработанную к настоящему времени область. Дальнейшие исследования должны показать, до какого абсолютного предела по интенсивности входного сигнала позволяет опуститься каскадные схемы усиления с использованием ФРК.

В заключение отметим, что помимо приведенной схемы двухлучкового голографического усилителя возможно применение параметрических усилителей как встречных⁵, так и попутных⁶ волн, а также схемы генератора — двойного обращаемого зеркала⁷ с неравными интенсивностями встречных пучков. Для последней схемы снимается требование когерентности сигнальной волны и волны накачки: они могут формироваться из излучения однопилных, но независимых лазеров. С помощью ФРК возможно также преобразование некогерентного излучения произвольного источника с длиной волны, попадающей в область фотопроводимости кристалла, в когерентное⁸, что позволяет ставить вопрос об усилении некогерентных оптических сигналов.

Таким образом, сочетание двух принципов усиления света позволяет улучшить реальные шумовые характеристики квантовых усилителей.

Авторы считают своим долгом поблагодарить О.П. Заскалько за плодотворное обсуждение затронутых в работе вопросов.

Литература

1. Земсков К.И., Казарян М.А., Петраш Г.Г. УФН, 1978, 126, 695.
2. Kukhtarev N., Markov V., Odoulov S. et al. Ferroelectrics, 1979, 22, 964.
3. Tschudi T., Herden A., Goltz J. et al. IEEE J. of Quant. Electr., 1986, QE-22, 1493.
4. Земсков К.И., Казарян М.А., Люксютов С.Ф. и др. Крат. сообщения по физике ФИАН, 1988, № 2, 47.
5. Cronin-Golomb M., Fisher B., White J.O., Yariv A. IEEE J. of Quant. Electr., 1984, QE-20, 12.
6. Киселева И.Н., Обуховский В.В., Одулов С.Г. ФТТ, 1986, 28, 2975.
7. Sternklar S., Weiss S., Segev M., Fisher B. Opt. Lett., 1986, 11, 528.
8. Marrakchi A., Tangnay R., Psaltis D., Yu Y. JOSA, 1984, A1, 1313.