

# Применение иодного активного квантового фильтра для усиления яркости изображения

Ю.Ф.Кутаев\*, С.К.Манкевич\*, О.Ю.Носач\*\*, Е.П.Орлов\*\*

*Экспериментально исследовано усиление яркости изображений с помощью иодного активного квантового фильтра. Осуществлено усиление яркости изображения в 3000 раз при сохранении дифракционного разрешения. Полученные результаты указывают на возможность применения иодного активного квантового фильтра в лазерной локации и лазерном зондировании.*

**Ключевые слова:** фотодиссоционный иодный лазер, активный квантовый фильтр, квантовый предел чувствительности, дифракционное качество разрешения, телекамера, шумовой сигнал, лазерная локация, лазерное зондирование.

## 1. Введение

Активный квантовый фильтр (АКФ), созданный на базе иодного фотодиссоционного лазера, отличается очень узкой линией усиления ( $0.01 \text{ см}^{-1}$ ) и обладает предельно высокой чувствительностью, ограниченной лишь квантовым пределом [1–5]. Эти свойства, как показали оценки, должны позволить с его помощью выделять на фоне мощной засветки, например на фоне солнечного диска или факела высокотемпературной плазмы, усиливать и регистрировать исходящие из точечных источников слабые сигналы, состоящие всего из нескольких фотонов [2].

В то же время АКФ способен усиливать сигналы в больших телесных углах, определяемых его геометрическими размерами. Телесный угол, в пределах которого АКФ эффективно усиливает сигналы при практически постоянном коэффициенте усиления, может быть больше телесного дифракционного угла в десятки тысяч раз. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос о возможности применения АКФ для усиления яркости изображения.

Для того чтобы сделать аргументированное заключение о возможности практического применения АКФ для усиления яркости изображения, нужно, прежде всего, в прямых экспериментах выяснить, можно ли в реальном АКФ усиливать яркость изображения без ухудшения дифракционного качества разрешения.

## 2. Эксперименты по усилению яркости изображения объектов в иодном АКФ

Эксперименты проводились в иодном АКФ, накачиваемом излучением коаксиальной полостной лампы со стабилизированным разрядом. Для улучшения оптиче-

ской однородности активной области между кюветой с рабочим газом и внутренней стенкой полостной лампы помещался светофильтр, отсекающий излучение с длиной волны менее 200 нм. Цепь разряда была выполнена таким образом, чтобы ток в лампе нарастал плавно и имел форму, близкую к колоколообразной, при длительности полупериода тока на полувысоте 60 мкс. Внутренний диаметр кюветы АКФ составлял 2 см, рабочее вещество  $n\text{-C}_3\text{F}_7\text{I}$  находилось в ней под давлением 1.25 кПа; при таком давлении интенсивность накачки практически однородна по объему.

Оптическая схема эксперимента приведена на рис.1. Импульс излучения от задающего генератора 1–5 направлялся сферическим зеркалом 9 на маску-объект 7 и затем попадал на сферическое зеркало 8, расположенное на двойном фокусном расстоянии от маски. Зеркалом 8 изображение маски в масштабе 1:1 строилось в центре кюветы АКФ 11, а затем с увеличением в 5.8 раз переносилось зеркалом 10 на белый матовый экран 13 и регистрировалось телекамерой 14, чувствительной к длине волны 1.315 мкм. Такая схема (с промежуточным построением изображения маски в центре кюветы) была выбрана для того, чтобы оптические неоднородности, возникающие в активной области АКФ при работе, меньше влияли на качество изображения.

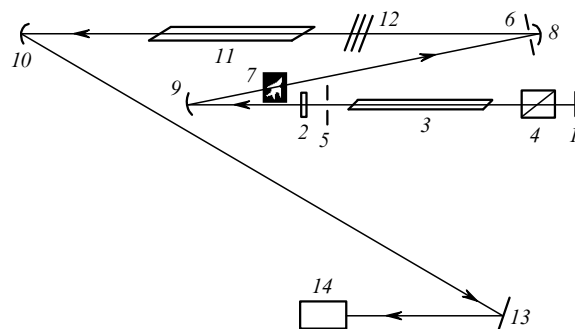


Рис.1. Экспериментальная оптическая схема: 1, 2 – зеркала задающего генератора; 3 – кювета задающего генератора; 4 – модулятор; 5, 6 – диафрагмы; 7 – маска-объект; 8–10 – сферические зеркала ( $F = 75 \text{ см}$ ); 11 – кювета АКФ; 12 – ослабляющие светофильтры; 13 – экран; 14 – телекамера.

\*Государственное унитарное предприятие «НПО Астрофизика», Россия, 123424 Москва, Волоколамское шоссе, 95

\*\*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53

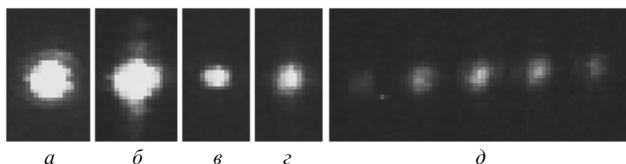


Рис.2. Изображение дифракционной точки ( $a-g$ ) и картины излучения, дифрагировавшего на решетке с вертикальными щелями ( $d$ ), при отключенной ( $a, в$ ) и включенной ( $б, г, d$ ) накачке АКФ.

После усиления в АКФ излучение не направлялось прямо в телекамеру, поскольку она накапливает шумовой сигнал люминесценции в течение всего времени работы АКФ, т. е. в течение нескольких миллисекунд. Если направить излучение непосредственно в камеру, то излучением люминесценции камера выводилась бы из динамического диапазона. Регистрация излучения, рассеянного экраном  $13$ , приводила к ослаблению сигнала более чем на четыре порядка, и интенсивность люминесценции не превышала шумового сигнала самой телекамеры. Такая оптическая схема не позволяла нам работать с предельно малыми сигналами, но дала возможность исследовать усиление яркости изображений при наличии оптических неоднородностей, возникающих в активной области реального АКФ при работе.

Вблизи зеркала  $8$  устанавливалась диафрагма  $6$  диаметром  $1$  см, дифракция на которой и определяла разрешение. Диаметры кюветы АКФ и зеркала  $10$  были существенно больше диаметра диафрагмы  $6$ .

Наши эксперименты проводились в следующем порядке. Вначале проверялось качество оптического тракта. Для этого в качестве маски-объекта  $7$  использовалась круглая диафрагма диаметром  $0.2$  мм, что соответствует размеру дифракционной точки на расстоянии  $150$  см от сферического зеркала  $8$  при диаметре диафрагмы  $6$ , равном  $1$  см. Накачка АКФ не включалась, а сигнал задающего генератора ослаблялся калиброванными фильтрами  $12$  до нужного уровня. На рис.2, $a$  представлено зарегистрированное при этом изображение дифракционной точки.

Затем сигнал ослаблялся дополнительными фильтрами в  $5000$  раз и усиливался в АКФ в  $3000$  раз. Результат представлен на рис.2, $б$ . Снимки в описываемых экспериментах специально были переэкспонированы для того, чтобы стало видно первое дифракционное кольцо Эйри. Сравнивая изображения на рис.2, $a$  и  $б$ , видим, что в обоих случаях достигнуто разрешение, близкое к дифракционному. Диаметры центральных максимумов на первом и втором снимках практически одинаковы. После усиления изменяется лишь распределение интенсивности в первом дифракционном кольце.

На рис.2, $в, г$  представлены изображения двух дифракционных точек, полученные аналогичным образом, но уже с нормальной экспозицией, поэтому первое дифракционное кольцо Эйри здесь не заметно.

Для того чтобы проверить, как происходит усиление яркости более сложной картины, на пути пучка после его отражения от зеркала  $8$  была установлена решетка с вертикальными щелями (период решетки составлял  $3$  мм, ширина щелей –  $1.7$  мм). Зарегистрированная после уси-

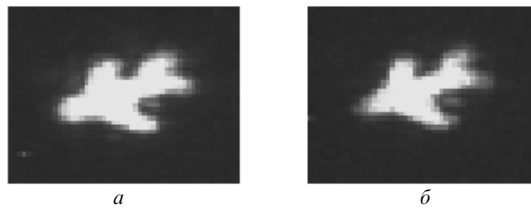


Рис.3. Изображение маски-объекта в виде силуэта самолета при отключенной ( $a$ ) и включенной ( $б$ ) накачке АКФ.

ления картина полученного таким образом ряда дифракционных максимумов представлена на рис.2, $д$ .

После того как мы убедились, что усиление ряда дифракционных точек происходит практически без искажений, было осуществлено усиление яркости изображения более сложного объекта. Маска-объект с круглым отверстием была заменена маской с отверстием в виде силуэта самолета. Угловые размеры объекта составляли: длина –  $7$  дифракционных размеров, размах крыльев –  $5$  дифракционных размеров. Как и в предыдущих сериях, были получены снимки без усиления и после ослабления и последующего усиления. Результаты представлены на рис.3.

Сравнивая снимки на рис.3, $a$  и  $б$ , видим, что после  $3000$ -кратного усиления яркости в иодном АКФ изображение довольно сложного объекта практически не претерпевает изменений и может быть легко идентифицировано. Небольшие различия, которые все же наблюдаются, обусловлены главным образом тем, что экспозиция снимка на рис.3, $б$  в  $1.7$  раза меньше экспозиции снимка на рис.3, $a$ , поскольку при получении первого изображения излучение было ослаблено в  $5000$  раз, а при получении второго – усилено в  $3000$  раз.

### 3. Заключение

Экспериментальное исследование возможности использования АКФ, созданного на базе иодного фотодиссоционного лазера, для усиления яркости изображений объектов при усилении их яркости в  $3000$  раз и сохранении дифракционного разрешения показало, что в иодном АКФ можно эффективно усиливать яркость изображений как точечных объектов, так и объектов довольно сложной формы. На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о целесообразности использования иодного АКФ в лазерной локации и лазерном зондировании, особенно при наличии мощных фоновых засветок.

Авторы выражают благодарность Н.Г.Басову за внимание и поддержку работы, а также В.А.Бодягину, С.Б.Борисову и М.Г.Князеву за помощь в проведении экспериментов.

1. Нартов С.С., Носач О.Ю. *Препринт ФИАН № 21* (М., 1994).
2. Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Препринт ФИАН № 20* (М., 1994).
3. Земсков Е.М., Казанский В.М., Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю. Патент № 2133533 РФ от 30.09.1997 г.; *Изобретения*, № 20, 480 (1999).
4. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. Патент № 2152056 РФ от 23.06.1999 г.; *Изобретения*, № 18, 434 (2000).
5. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Квантовая электроника*, **30**, 833 (2000).