

ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ

Ш. С. Касымов, З. Мирзажонов, Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов

*Ферганский Политехнический Институт,
Фергана, Узбекистан*

Поступила в редакцию 12.12.2017

Экспериментально исследуется регистрация импульсного ИК лазерного излучения с применением полупроводниковой фотографической системы ионизационного типа. В качестве фотоприемника использован полуизолирующий арсенид галлия, имеющий фотопроводимость в области длин волн 0,8–1,7 мкм. Толщина газоразрядного промежутка ~60 мкм, давление воздуха в промежутке ~100 мм рт. ст. В опытах использован лазер с длительностью импульса 60 мкс и $\lambda = 1,315$ мкм.

Ключевые слова: арсенид галлия, импульсное инфракрасное лазерное излучение, полупроводниковая фотографическая система, фотоприемник.

ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ІЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Ш. С. Касимов, З. Мірзажонов, Х. Т. Йулдашев, Ш. С. Ахмедов

Експериментально досліджується реєстрація імпульсного ІЧ лазерного випромінювання з застосуванням напівпровідникової фотографічної системи іонізаційного типу. Як фотоприймач застосовується напівізолюючий арсенід галію, що має фотопровідність в області довжин хвиль 0,8–1,7 мкм. Товщина газоразрядного проміжку ~60 мкм, тиск повітря в проміжку ~100 мм рт. ст. У дослідях використаний лазер з тривалістю імпульсу 60 мкс і $\lambda = 1,315$ мкм.

Ключові слова: арсенід галію, імпульсне інфрачервоне лазерне випромінювання, напівпровідникова фотографічна система, фотоприймач.

PHOTOCONVERTOR TO STUDY IR LASER RADIATION CHARACTERISTICS

Sh. S. Kasymov, Z. Mirzazhonov, X. T. Yuldashev, Sh. S. Akhmedov

An experimental study was made the recording of the pulsed IR laser radiation with the use of ionization-type semiconductor photographic system. Semi-insulating gallium arsenide was used as a photodetector since it possessed photoconductance in the wavelength range of 0,8–1,7 μ . The gas discharge gap thickness was ~60 μ , the air pressure in the gap was ~100 mm Hg. A laser with the radiation pulse length of ~60 μ s and $\lambda = 1,315$ μ was used in the experiments.

Keywords: gallium arsenide, pulsed infrared laser radiation, semiconductor photographic system, photodetector.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой ИК лазеров в настоящее время остро стоит проблема измерения пространственного распределения энергии по сечению пучка. В ближней ИК области ($\lambda < 1,3$ мкм) вопросы регистрации в основном решены на базе применения ИК фотопленок либо электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Эти методы дают хорошие результаты как в интегральном,

так и в покадровом режимах регистрации. В последнем случае информация, естественно, более полная, поскольку появляется возможность проследить кинетику изменения лазерных параметров в течение импульса излучения.

Дальнейшее продвижение чувствительности галогенидосеребряных фотоматериалов в сторону более длинных волн встречает принципиальные трудности [1], поскольку

на такие фотоматериалы оказывает существенное воздействие тепловое излучение окружающей среды. Область применения ЭОП ограничивается красной границей внешнего эффекта с $\lambda = 1,2-1,5$ мкм [2].

Неселективные приемники излучения, такие как термочувствительные люминофоры [3] и магнитные пленки [4–6], имеют сравнительно низкую чувствительность ($\sim 10^3$ см²/Дж) и небольшой динамический диапазон (~ 15 и ~ 30 соответственно), что сужает, а в ряде случаев и полностью исключает возможность их применения.

Матричные системы с использованием пьезоэлектрических или термоэлектрических [7, 8] приемников ИК излучения в принципе решают рассматриваемую проблему. Однако для удовлетворительного описания параметров лазерного пучка необходимо большое количество ($\geq 10^4$) измерительных каналов, что практически реализовать очень сложно.

Таким образом, существующие способы регистрации либо в силу физических ограничений не могут работать при $\lambda \geq 1,5$ мкм, либо не обладают совокупностью технических характеристик, необходимой для определения пространственного распределения энергии по сечению лазерного пучка. Следует особо выделить вопрос измерения распределения энергии в режиме покадровой съемки. Если для $\lambda \leq 1,3$ мкм такие регистраторы разработаны на основе ЭОП, то для больших длин волн все известные приемники изображений не обладают способностью изменять свою чувствительность, что необходимо для режима покадровой съемки.

В настоящей работе предпринята попытка создания регистраторов лазерного ИК излучения принципиально нового типа на основе полупроводниковой фотографической системы ионизационного типа, предложенной в [11–13]. Такие системы позволяют продвинуть измерения распределения энергии по сечению пучка в более длинноволновую область и сравнительно просто осуществить режим покадровой съемки, дающий возможность проследить кинетику процессов в лазере.

1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Работа устройства основана на управлении разрядным током в тонком газонаполненном промежутке посредством распределенного по сечению разряда фоточувствительного полупроводникового слоя. На рис. 1 показана принципиальная схема прибора, примененного в описанных ниже исследованиях. Система состоит из полупроводниковой фоточувствительной пластины (1), снабженной полупрозрачным электродом (2). Внутренняя поверхность пластины отделена от поверхности регистрирующего слоя (4) газовым зазором (3). Регистрирующий слой (4) располагается на прозрачном проводящем контрэлектроде (5), выполненном, например, из стеклянной пластинки, покрытой проводящей пленкой SnO₂. При подключении к системе напряжения происходит пробой газового разряда, отличающийся тем, что в разрядной ячейке присутствует распределенное сопротивление полупроводника, способствующее демпфированию токовых неустойчивостей. Сопротивление, полупроводника полностью определяет величину плотности тока по площади сечения и при освещении полупроводника может управлять величиной и распределением тока в газовом зазоре.

Фотографическая регистрация может осуществляться за счет непосредственного воздействия свечения газа разрядной области на фоточувствительный материал (первый способ). Кроме того, может быть использовано возбуждение энергичными частицами разрядного промежутка (а также УФ свечения) люминесцентного слоя, нанесенного на внутреннюю поверхность прозрачного электрода (5). В этом

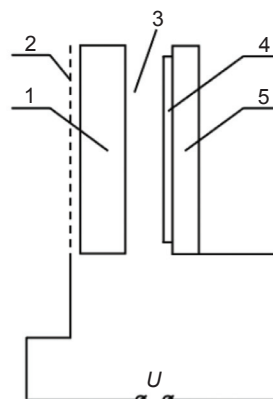


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

случае изображение на фоточувствительном материале формируется за счет свечения люминофора (второй способ).

Следует подчеркнуть, что фотографическая чувствительность системы появляется только при приложении к ее электродам достаточно высокого напряжения.

Таким образом, устройства рассматриваемого типа удовлетворяют принципу управляемой чувствительности, согласно которому высокая фотографическая чувствительность в ИК области может быть достигнута, если чувствительность системе сообщается только на время полезного экспонирования.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящих исследованиях фотографическая регистрация в основном осуществлялась по первому способу. Электрод 5 (рис. 1) выполнялся в виде тонкой мелкоструктурной металлической сетки, к внешней стороне которой прижималась фотопленка (эмульсией к сетке). Во втором способе люминесцентный слой (светосостав К-60) наносился на обращенную к разряду поверхность прозрачного проводящего электрода (слой SnO₂ на стекле). В обоих режимах регистрации использовалась фотопленка РФ-3.

В качестве фотоприемника применялся полуизолирующий арсенид галлия, имеющий фотопроводимость в области длин волн $\lambda \sim 0,8-1,7$ мкм (рис. 2). Толщина зазора составляла 60 мкм, а давление газа в нем (применялся воздух) порядка 100 мм рт. ст. Размер кадра соответствовал площади круга диаметром 17 мм. Для исключения засветки пленки фоновым светом входное окно камеры выполнено из оптически полированного кремния. Значения фототока (кривая 1) при засветке собственным сильнопоглощаемым светом велики при соединении отрицательного полюса источника с полупрозрачным электродом. В условиях противоположной полярности напряжение коротковолновой чувствительности практически отсутствует (кривая 2).

Схема испытаний приведена на рис. 3. Импульс излучения лазера 1 ($\lambda = 1,315$ мкм, длительность ~ 60 мкс) подсвечивает диафрагму щелевого типа

4, изображение которой объективом 5 проецируется на фотоприемник камеры 9. Часть диафрагмы прикрывалась нейтральным фильтром. В результате многократного отражения в зеркальном клине 6 в плоскости полупроводника получается набор изображений щели с разной плотностью энергии. Калориметры 2, 7 с помощью полупрозрачных зеркал 12 и 14 контролируют общую энергию лазера и энергию, поступающую на фотоприемник. Интерференционный светофильтр 8 защищает фотоприемник от фоновой засветки, пропуская только излучение лазера. Запуск схемы блока импульсов высокого напряжения 10 производится импульсом синхронизации, идущим от лазера. Осциллограф 11 контролирует взаимное положение во времени импульса высокого напряжения на камере (длительность его 100 мкс) и импульса излучения, форма которого регистрируется фотодиодом 3 с помощью полупрозрачного зеркала 13.

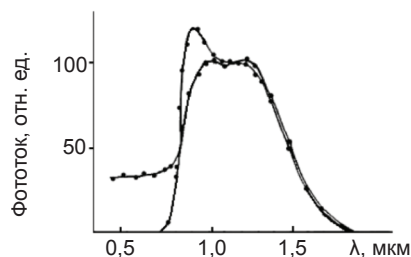


Рис. 2. Спектральная характеристика чувствительности фотоприемника

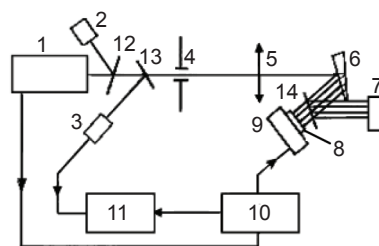


Рис. 3. Схема измерений характеристик фотоприемника

Широкий динамический диапазон системы, как показали опыты [8], обусловлен тем обстоятельством, что в большом интервале плотности тока дифференциальное сопротивление газоразрядного промежутка практически обращается в нуль. Поэтому изменение сопротивления фотоприемника при

его освещении не вызывает перераспределения напряжения между фотоприемником и преобразующим элементом (газоразрядным промежутком).

Высокая фотографическая чувствительность ионизационных систем в ИК области спектра обеспечивается эффективным процессом преобразования потока ИК излучения, вызывающего фотопроводимость в полупроводниковом фотоприемнике, в энергию, выделяющуюся в газоразрядном промежутке при протекании в нем тока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний подтвердили возможность использования полупроводниковых фотографических систем ионизационного типа для регистрации лазерного излучения. Камера имеет существенно лучшие относительно магнитных пленок и термочувствительных экранов технические характеристики по динамическому диапазону и чувствительности.

Необходимо подчеркнуть, что возможность применения ионизационных систем не ограничивается спектральной областью чувствительности фотоприемников, рассмотренных в настоящей работе. Длинноволновую границу чувствительности можно расширить, применив охлаждаемые фотоприемники с меньшими энергиями фотоионизации примесных центров.

Привлекательной особенностью устройств является возможность электрического управления чувствительностью (наличие «электрического» затвора).

Высокая чувствительность, большой динамический диапазон, малая инерционность процессов в газовом промежутке открывают перспективы для осуществления покадровой съемки исследуемого сечения лазерного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Йулдашев Х. Т., Касымов Ш. С., Хайдаров З. Фотопреобразователь ИК-изображений со сверхтонкой газоразрядной ячейкой и люминофором // Журнал прикладной физики. — 2016. — № 2. — С. 94–99.
2. Йулдашев Х. Т., Хайдаров Б. З., Касымов Ш. С. Новый фотографический эффект в сверхтонкой газоразрядной ячейке с полупроводниковым электродом // Журнал прикладной физики. — 2016. — № 5. —

С. 75–80.

3. Лодыгин А. Н., Астров Ю. А., Порцель Л. М., Берегулин Е. В. Динамика таунсендовского разряда в аргоне // ЖТФ. — 2015. — Т. 85(5). — С. 27–31.
4. Астров Ю. А., Лодыгин А. Н., Порцель Л. М. Гексагональные структуры тока в системе полупроводник-газоразрядный промежуток // ЖТФ. — 2011. — Т. 81(2). — С. 42–47.
5. Орбух В. И., Лебедева Н. Н., Саламов Б. Г. Влияние поверхностной проводимости полупроводникового электрода на распределение газоразрядного тока // ФТП. — 2009. — Т. 43, вып. 10. — С. 1329–1332.
6. Лодыгин А. Н., Порцель Л. М., Астров Ю. А. Газовый разряд в аргоне и азоте при криогенной температуре в тонких зазорах // Письма в ЖТФ. — 2008. — Т. 34(14). — С. 61–66.
7. Лебедева Н. Н., Орбух В. И., Эйвазова Г. М., Боброва Е. Ю. Выпрямление на контакте полупроводник-газоразрядная плазма // Вестник Бакинского Государственного Университета. — 2007. — № 4. — С. 199–200.
8. Лебедева Н. Н., Орбух В. И., Боброва Е. Ю. Преобразователь ИК-изображения на основе GaAs и его возможные модификации // Вестник Бакинского Государственного Университета. — 2005. — № 5. — С. 111–115.

REFERENCES

1. Juldashv H. T., Kasymov Sh. S., Hajdarov Z. Fotopreobrazovatel' IK-izobrazhenij so sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejkoj i lyuminoformom // Zhurnal prikladnoj fiziki. — 2016. — No. 2. — P. 94–99.
2. Juldashv H. T., Hajdarov B. Z., Kasymov Sh. S. Novyj fotograficheskij effekt v sverhtonkoj gazorazryadnoj yachejke s poluprovodnikovym elektrodom // Zhurnal prikladnoj fiziki. — 2016. — No. 5. — P. 75–80.
3. Lodygin A. N., Astrov Yu. A., Porcel' L. M., Beregulyn E. V. Dinamika taunsendovskogo razryada v argone // ZhTF. — 2015. — Vol. 85(5). — P. 27–31.
4. Astrov Yu. A., Lodygin A. N., Porcel' L. M. Geksagonal'nye struktury toka v sisteme poluprovodnik-gazorazryadnyj promezhutok // ZhTF. — 2011. — Vol. 81(2). — P. 42–47.
5. Orbuh V. I., Lebedeva N. N., Salamov B. G.

- Vliyanie poverhnostnoj provodimosti poluprovodnikovogo elektroda na raspredelenie gazoryazryadnogo toka // FTP. — 2009. — Vol. 43, vyp 10. — P. 1329–1332.
6. Lodygin A. N., Porcel' L. M., Astrov Yu. A. Gazovyy razryad v argone i azote pri kriogennoj temperature v tonkih zazorah // Pis'ma v ZhTF. — 2008. — Vol. 34(14). — P. 61–66.
 7. Lebedeva N. N., Orbuh V. I., Ejvazova G. M., Bobrova E. Yu. Vypriamlenie na kontakte poluprovodnik-gazorazryadnaya plazma // Vestnik Bakinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. — 2007. — No. 4. — P. 199–200.
 8. Lebedeva N. N., Orbuh V. I., Bobrova E. Yu. Preobrazovatel' IK-izobrazheniya na osnove GaAs i ego vozmozhnye modifikacii // Vestnik Bakinskogo Gosudarstvennogo Universiteta. — 2005. — No. 5. — P. 111–115.