

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.382

DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).69-75

ГРНТИ 47.13.11

Специальность ВАК 1.3.4

Научная статья

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТОПРИЕМНИКОВ

Гаврушко В. В.¹, Григорьев А. Н.², Кадриев О. Р.¹

¹ Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия)

² ООО «Промышленные дроссели» (Великий Новгород, Россия)

Аннотация Приводится описание апробированного варианта стенда для исследования температурной зависимости интегральной токовой чувствительности фотоприемников. Был разработан оригинальный оптический термостат, с вертикальным ходом луча, что позволило исключить использование дополнительных оптических окон. Предлагаемая конструкция термостата позволяла производить измерения как в области низких, так и высоких температур. В качестве источника излучения использована модель АЧТ с температурой 800 К. В качестве датчика температуры был использован прямосмещённый эмиттерный переход германиевого транзистора. Ток смещения составлял 100 мкА. Приведены электрические схемы датчика и регистратора сигналов для фотодиода. Выполнена градуировка датчика температуры в диапазоне от 77 до 373 К.

Ключевые слова: *стенд, оптический термостат, датчик температуры, фотоприемник, токовая чувствительность*

Для цитирования: Гаврушко В. В., Григорьев А. Н., Кадриев О. Р. Стенд для исследования температурной зависимости интегральной токовой чувствительности фотоприемников // Вестник НовГУ. 2024. 1(135). 69-75. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).69-75

Research Article

STAND FOR STUDYING THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE INTEGRAL CURRENT SENSITIVITY OF PHOTODETECTORS

Gavrushko V. V.¹, Grigoriev A. N.², Kadriev O. R.¹

¹ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (Veliky Novgorod, Russia)

² LLC "Promyshlennyye drosseli" (Veliky Novgorod, Russia)

Abstract A tested version of a test bench for studying the temperature dependence of the integrated current sensitivity of photodetectors is described. An original optical thermostat with a vertical beam path was used. This has made it possible to avoid the use of additional optical windows in the thermostat. Temperature control was carried out by a forward-biased emitter junction of a germanium transistor. The bias current was 100 μ A. An experimental calibration of the temperature sensor was carried out in the range from 77 to 373 K. A blackbody model with a temperature of 800 K was used as a radiation source. Electrical circuits of the sensor and signal recorder for photodiodes are presented.

Keywords: *Stand, optical thermostat, temperature sensor, photodetector, current sensitivity*

For citation: Gavrushko V. V., Grigoriev A. N., Kadriev O. R. Stand for studying the temperature dependence of the integral current sensitivity of photodetectors // Vestnik NovSU. 2024. 1(135). 69-75. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).69-75

Введение

Токовая чувствительность является важнейшей характеристикой фотодиодов. Она используется при выборе типа фотоприемника, необходима для проектирования и расчета характеристик оптоэлектронных устройств. В случае неохлаждаемых фотоприемников они, как правило, не термостатируются. В этом случае чрезвычайно важной является температурная зависимость характеристик фотоприемников, прежде всего токовой чувствительности. Особенно это актуально для фотоприемников с узкой запрещенной зоной, для которой предельные рабочие температуры близки к комнатным [1].

Необходимость обеспечивать облучение фотоприемников стабильным световым потоком в широком интервале температур выявила ряд особенностей, связанных с методикой исследования и конструкцией измерительного стенда. В настоящей работе приводится описание апробированного варианта стенда для исследования температурной зависимости интегральной токовой чувствительности фотоприемников.

Стенд для исследования температурной зависимости

При разработке стенда в качестве базовой была использована методика, рекомендованная ГОСТ [2].

Схема установки представлена на рисунке 1. В комплект входили: источник излучения 1 (АЧТ 800 К), модулятор 2 с частотой 800 Гц, исследуемый фотоприемник 3 помещенный в термостат 4 и регистрирующий прибор 5 (усилитель селективный У2-8).

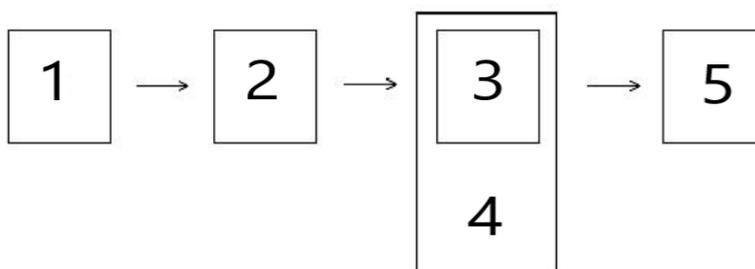


Рисунок 1. Схема измерения интегральной чувствительности фотоприемников: 1. источник излучения (АЧТ 800К), 2. модулятор, 3. исследуемый фотоприемник, 4. термостат, 5. регистрирующий прибор

Для исследования фотоприемников в широкой области температур от 77К до 293К был использован оригинальный оптический термостат [3], схематически показанный на рисунке 2. Внутри сосуда дьюара помещался термостатирующий элемент 3, представляющий собой медный цилиндр, обладающий большой теплоемкостью и высокой теплопроводностью. В цилиндре были сформированы полости для установки термодатчика и фотоприемника.

По оси держателя выполнено сквозное резьбовое отверстие, в которое вворачивается шток 4. Для измерений в области низких температур сосуд дьюара частично заполнялся жидким азотом. В дне корпуса, вблизи образующей внутренней стенки, выполнено одно или несколько отверстий. Нижняя наружная часть корпуса выполнена таким образом, что он плотно (без зазоров) устанавливается в горловую часть сосуда с жидким криоагентом 8. Изменяя глубину погружения штока в азот, можно изменять скорость охлаждения термостатирующего элемента. Такая конструкция криостата позволяла сократить время измерений. При испарении холодный сухой газообразный криоагент поступал через отверстия внутрь корпуса и вытеснял из него теплый (влажный) воздух и тем самым устранял возможность «обмерзания» держателя и установленного на нем исследуемого образца. Пары носителя омывали держатель, что приводило к его дополнительному охлаждению. Конструкция криостата в отличие от классических [4] позволяла исключить влияние окон на характеристики падающего излучения и получить возможность проведения исследований в широком диапазоне температур.

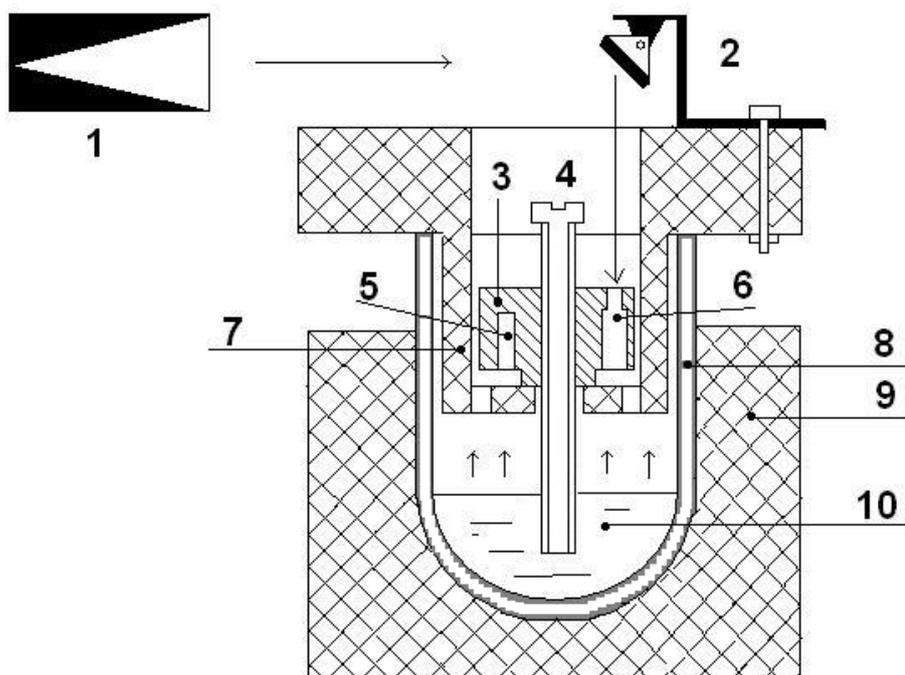


Рисунок 2. Оптический термостат: 1 – АЧТ; 2 – поворотное зеркало; 3 – держатель; 4 – винт; 5 – отверстие для термодатчика; 6 – отверстие для фотодиода; 7 – корпус; 8 – открытый сосуд Дьюара; 9 – подставка; 10 – жидкий азот

Для исследования чувствительности фотоприемников в области температур выше комнатной (от 293К до 323К) был использован тот же самый термостат. Но вместо охлаждения термостатирующий элемент подвергался импульсному нагреву до максимальной температуры. После чего источник тепла удалялся

и производился цикл измерений на проходе температур от максимальной (323 К) до комнатной (293 К). Таким образом предлагаемая конструкция термостата позволяла производить измерения как в области низких, так и высоких температур.

В качестве датчика температуры был использован прямосмещённый эмиттерный переход германиевого транзистора. Физический принцип работы полупроводникового термометра основан на зависимости от температуры падения напряжения на р-п переходе, смещенном в прямом направлении. Данная зависимость близка к линейной, что позволяет использовать датчики без сложных схем коррекции [5-7]. Их использование имеет преимущество перед обычно применяемыми для этих целей термопарами. Датчик характеризуется малыми размерами, высокой чувствительностью и хорошей линейностью температурной характеристики. Кроме того, не требуется контролировать температуру наружных концов термопары. В соответствии с работой [5] напряжение на прямосмещённом р-п переходе при неизменном токе связано с температурой по линейному закону:

$$T = B - AV, \quad (1)$$

где A и B – экспериментально определяемые константы.

Принципиальная электрическая схема термодатчика представлена на рисунке 3: через резистор $R1$ задавался ток эмиттерного переход и точным вольтметром V производилось измерение напряжения на этом переходе. Для градуировки датчика температуры были использованы следующие реперные точки: температура жидкого азота (77,4 К), температура таяния льда (273 К), комнатная температура (измерялась аттестованным термометром ТЛ-1, имеющим погрешность измерения $\pm 0,5$ К) и температура кипения воды (373 К).

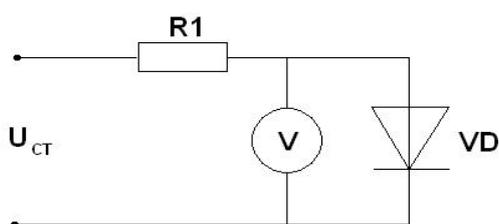


Рисунок 3. Принципиальная электрическая схема термодатчика

Зависимость напряжения на р-п переходе от температуры при токе 100 мкА приведена на рисунке 4. Как видно, эта зависимость линейна в интервале исследованных температур. Мощность, рассеиваемая датчиком, не превышала 70 мкВт, что при хорошем тепловом контакте с держателем практически не вносило погрешности в измерение температуры.

Измерения производились на проходе при медленном остывании криостата. На скорость остывания основное влияние оказывали два фактора:

- количество залитого в криостат жидкого азота;
- число отверстий для паров азота в днище корпуса.

И то, и другое устанавливалось опытным путём. Время остывания до температуры жидкого азота составляло около 2 часов (скорость равна примерно 2 градусам в минуту). Время измерения – около 1,5 минуты, следовательно, точность поддержания температуры во время эксперимента была не хуже 3 К.

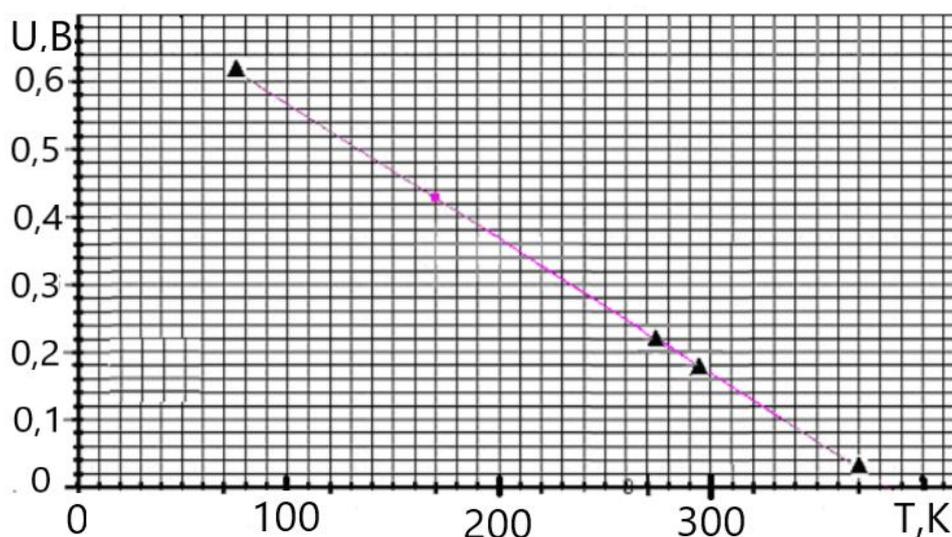


Рисунок 4. Зависимость показаний датчика от температуры

С целью обеспечения режима «короткого замыкания» при измерении токовой чувствительности во всем температурном диапазоне фотодиод подключался к входу трансимпедансного усилителя, схема которого приведённая на рисунке 5.

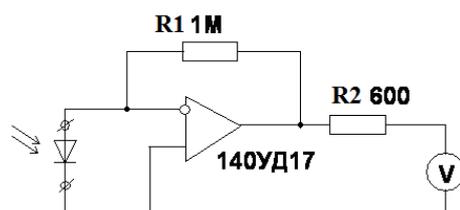


Рисунок 5. Измерительная схема

Заключение

Разработанный стенд позволял измерять интегральную токовую чувствительность фотодиодов в широком интервале температур от 77 до 370 К. Существенным преимуществом стенда является отсутствие входных окон

и необходимости учета связанных с ними оптических потерь. Стенд применялся для исследования характеристик фотодиодов, однако может быть использован при изменении регистрирующего устройства и для других типов фотоприемников.

Список литературы

1. Амбозьяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов / перевод с польского Н. И. Тюшкевича; под редакцией Б. Т. Коломийца. Москва: Советское Радио, 1970. 392 с.
2. ГОСТ 17772–88. СТ СЭВ 3789-82. Приёмники излучения и устройства приёмные полупроводниковые фотоэлектрические: методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.06.88 № 2513: дата введения 01.07.89. Москва: Издательство стандартов, 1988. 65 с.
3. Григорьев А. Н., Сапожников А. А. Патент № 2486480 Российская Федерация МПК G01J1/02 (2006.01). Оптический криостат: № 2011149954/28: заявл. 12.07.2011: опубл. 27.06.2013 / заявитель «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого».
4. Захаренко В. А., Шкаев А. Г. Патент № 2210099 Российская Федерация МПК G05D 23/30 (2006.01), G01J 5/08 (2006.01). Устройство термостатирования фотоприемника: № 2001116288/09: заявл. 13.06.2001: опубл. 10.08.2003 / заявитель Омский государственный технический университет.
5. Зеленов Г. Я. Измерение температуры р-п-переходом // Современная электроника. 2007. 2. 38-39.
6. Громов В. С., Шестимеров С. М., Увайсов С. Г. Высокоточный транзисторный датчик температуры // Датчики и системы. 2010. 11. 19-22.
7. Булкин П. С., Васильева О. Н, Киров С. А., Малова Т. И. Измерение температуры полупроводниковыми термометрами: лабораторный практикум по молекулярной физике: задача № 224. Москва: ООП Физ. факультета МГУ, 2012. 17 с.

References

1. Ambozyak A. Konstruktsiya i tekhnologiya poluprovodnikovyykh fotoelektricheskikh priborov [Design and technology of semiconductor photoelectric devices] / translated from Polish by N. I. Tyushkevich; edited by B. T. Kolomiets. Moscow: Sov. Radio, 1970. 392 p.
2. GOST 17772–88. ST SEV 3789-82. Priyomniki izlucheniya i ustroystva priyomnyye poluprovodnikovyye fotoelektricheskiye: metody izmereniya fotoelektricheskikh parametrov i opredeleniye kharakteristik: izdaniye ofitsial'noye [Radiation receivers and semiconductor photoelectric receiving devices. Methods for measuring photoelectric parameters and determining characteristics: official publication]: approved and put into effect by Resolution of the USSR State Committee for Standards dated 29.06.88 No. 2513: date of implementation 01.07.89. Moscow: Standards Publishing House., 1988. 65 p.
3. Grigoriev A. N., Sapozhnikov A. A. Patent No. 2486480 Russian Federation IPC G01J1/02 (2006.01). Opticheskiy kriostat [Optical cryostat]: No. 2011149954/28: application 12.07.2011: publ. 27.06.2013 / applicant «Yaroslav-the-Wise Novgorod State University».

4. Zakharenko V. A., Shkaev A. G. Patent No. 2210099 Russian Federation IPC G05D 23/30 (2006.01), G01J 5/08 (2006.01). Ustroystvo termostatirovaniya fotopriyemnika [Thermal control device for photodetector]: No. 2001116288/09: application 13.06.2001: publ. 10.08.2003 / applicant Omsk State Technical University.

5. Zelenov G. Ya. Izmereniye temperatury p-n-perekhodom [Temperature measurement by p-n junction] // Modern electronics. 2007. 2. 38-39.

6. Gromov B. S., Shestimerov S. M., Uvaysov S. G. Vysokotochnyy tranzistornyy datchik temperatury [High precision transistor temperature sensor] // Sensors and systems. 2010. 11. 19-22.

7. Bulkin P. S., Vasilyeva O. N., Kirov S. A., Malova T. I. Izmereniye temperatury poluprovodnikovymi termometrami: laboratornyy praktikum po molekulyarnoy fizike: zadacha № 224 [Temperature measurement with semiconductor thermometers: laboratory workshop on molecular physics: problem No. 224]. Moscow: basic educational program of Faculty of Physics, Moscow State University, 2012. 17 p.

Информация об авторах

Гаверушко Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор, профессор, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0000-0002-8704-6751, Valery.Gavrushko@novsu.ru

Григорьев Александр Николаевич – заместитель генерального директора, ООО «Промышленные дроссели» (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0000-0001-7073-8762, a.grigoryev@promdros.ru

Кадриев Олег Равильевич – ассистент, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0004-2875-010, olegovichok@mail.ru