



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2001-42
ОНФ

С.Н. Головня, С.А. Горохов¹, Ю.В. Роднов, Ю.П. Цюпа

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ**

Направлено в ПТЭ

¹Correspondent GOROKHOV@MX1.IHEP.SU

Протвино 2001

Аннотация

Головня С.Н. и др. Установка для измерения параметров арсенид-галлиевых полупроводниковых детекторов: Препринт ИФВЭ 2001–42. – Протвино, 2001. – 7 с., 9 рис., 1 табл., библиогр.: 12.

Описана установка для измерения параметров арсенид-галлиевых полупроводниковых детекторов со следующими основными параметрами:

- измеряемые токи – от 10 пА до 650 нА;
- измеряемые ёмкости – от 0,1 до 2500 пФ;
- частота модуляции – от 20 Гц до 6 МГц;
- напряжение смещения – от 1000 В до +1000 В;
- температура детектора – от +60 до -20°C .

Abstract

Golovnya S. N. et al. Installation for Measurement of Parameters GaAs Detectors: IHEP Preprint 2001–42. – Protvino, 2001. – p.7, figs.9, tables 1, refs: 12.

The installation for measurement of parameters GaAs detectors with the following basic parameters is described:

- measurable currents – from 10 pA up to 650 nA;
- measurable capacity – from 0,1 up to 2500 pF;
- frequency of modulation – from 20Hz up to 6 MHz;
- bias voltages – from 1000V up to + 1000 V;
- temperature of the detector – from + 60 up to -20°C .

Введение

В работе описана установка для измерения параметров полупроводниковых детекторов – вольтамперных и вольтфарадных характеристик в широком диапазоне температур от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$. Установка отличается от разработанных ранее устройств подобного типа [1, 2] тем, что позволяет измерять токи в диапазоне от 10 пА до 650 нА при напряжениях смещения на детекторе до 1 кВ и емкости в диапазоне $0,1\text{--}2500\text{ пФ}$ в том же интервале напряжений смещения при частотах модуляции в интервале от 20 Гц до 6 МГц . Такие характеристики установки специально выбирались для исследования различного типа арсенид-галлиевых (GaAs) детекторов, разрабатываемых в рамках проекта МНТЦ №1107-99 «СИСТЕМА С АРСЕНИД-ГАЛЛИЕВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ X-ЛУЧАМИ МАЛЫХ ДОЗ» [3–6]. В настоящее время на отечественном рынке измерительных приборов отсутствуют приборы, позволяющие выполнить указанный объем измерений, необходимый для исследования электрофизических характеристик арсенид-галлиевых детекторов.

1. Измерение вольтамперных характеристик детекторов

Принципиальная схема измерительного тракта, разработанного для измерения вольтамперных характеристик полупроводниковых детекторов, представлена на **рис. 1**. Детектор устанавливается в специальный температурный бокс, который будет детально описан ниже. Входной усилитель, собранный по схеме с Т-образным мостом, монтируется в отдельном экранированном объеме и размещается рядом с температурным боксом. Источник постоянного напряжения смещения (ИПН) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выполненные в стандарте КАМАК, устанавливаются в кейт КАМАК и управляются от персонального компьютера (РС) через контроллер кейта (КК) К331.

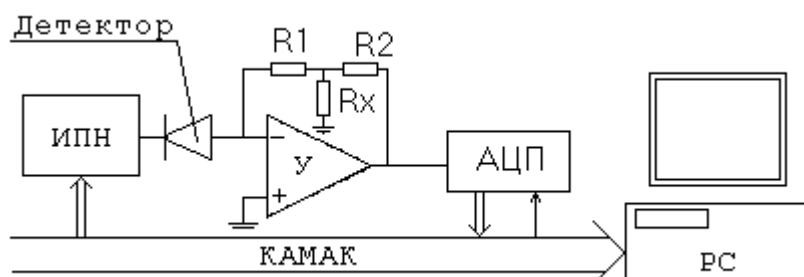


Рис. 1.

В качестве источника напряжения смещения (ИПН) используется стандартный прибор ВИН-7 (производство г. Обнинск), который модифицирован для получения выходного напряжения до 2 кВ, и имеет минимальный шаг 0,5 В.

Выбор входного усилителя (У) продиктован требованием измерения малых входных токов. С этой точки зрения, удовлетворительными параметрами обладает микросхема AD820 [7] фирмы Analog Devices (входной ток $I_{вх} \leq 2$ пА при температуре < 35 C⁰, дрейф $dU/dt = 1$ мкВ/C⁰). Усилитель включен по схеме с Т-образным мостом, что позволяет получить эквивалентный высокоомный резистор в цепи обратной связи (ОС) при низкоомных резисторах R_1 , R_2 , R_x . В данной схеме эквивалентный резистор в цепи обратной связи (R_3) может быть описан следующим выражением:

$$R_3 \approx R_1 + R_2 + R_1 * R_2 / R_x. \quad (1)$$

Эта формула справедлива для случая $R_2 \gg R_x$ (в данном случае $R_2 = 5.6$ МОм, $R_1 = 2$ МОм, и это условие выполняется). Резистор R_x представляет собой набор резисторов номиналами от 100 Ом до 1 МОм, коммутируемых переключателем (табл.1). Переключение резистора R_x в цепи ОС позволяет измерять токи в пределах от 10 пА до 683 нА.

Для преобразования измеряемого сигнала в цифровую форму используется АЦП 16/60, выполненный в стандарте КАМАК. Диапазон входных напряжений АЦП ± 5 В, разрядность 15 бит (16-й бит знаковый).

Схема калибровки усилителя представлена на рис. 2. При калибровке ко входу усилителя подключается микроамперметр (А) $\Phi 195$ и снимается зависимость выходного напряжения $U_{вых}$ от входного тока $I_{вх}$, и по углу наклона прямой определяется коэффициент передачи $K_{калибр}$ (нА/отсчет). Цена канала АЦП N составляет

$$N = 5/32768 \text{ В/отсчёт}. \quad (2)$$

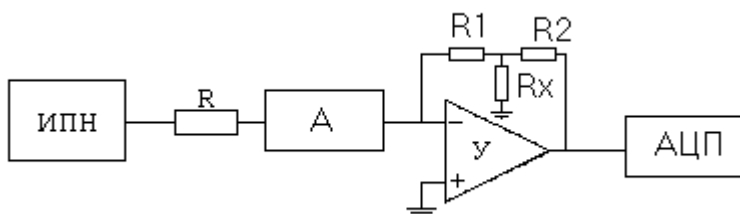


Рис. 2.

Достоинством данного метода калибровки является то, что в этом случае мы получаем прямую зависимость выходного напряжения от тока, протекающего во входной цепи усилителя, не зависящую от номинала резистора R . Для повышения точности измерений каждый из диапазонов калибровался двумя резисторами и далее считался средний коэффициент передачи и погрешность калибровки. Для уменьшения аппаратной погрешности входного усилителя у него предусмотрена встроенная балансировка нуля.

Схема калибровки хорошо работает при входных токах выше 1 нА. При меньших значениях входного тока коэффициент передачи K рассчитывается теоретически

$$K_{теор} = N * 10^{-9} * U_{вых} / R_x, \text{ (нА/отсчет)}. \quad (3)$$

Результаты измерений и вычисления коэффициента передачи представлены в табл 1. Как видно из табл 1, выражение (3) может быть использовано при расчете коэффициентов передачи в диапазоне входных токов 10 pA–20 000 pA.

	$K_{\text{теор}} \cdot 10^{-6}$ (нА/отсчет)	$\langle K_{\text{калибр}} \rangle \cdot 10^{-6}$ (нА/отсчет)	$\delta, \%$	$\frac{K_{\text{калибр}}}{K_{\text{теор}}}$ %	R_x (кОм)	I_{max} (нА)
1	1,446				0,1	0,05
2	7,007				0,5	0,23
3	13,970				1,0	0,46
4	70,070	68,910	3	98	5,0	2,25
5	139,100	134,010	2	97	10,0	4,39
6	695,100	672,000	2	96	50,0	22,02
7	1396,000	1329,000	1	95	100,0	43,55
8	6326,000	4910,000	1	77	500,0	160,89
9	13790,000	8340,000	<1	60	1000,0	273,28
10	20560,000	20850,000	<1		**	683,00

δ – погрешность калибровки.

** В 10-м диапазоне R_x отсутствует, т.е. $R_3 = R_1 + R_3$.

2. Измерение вольтфардных характеристик детекторов

Принципиальная схема измерительного тракта для измерения вольтфардных характеристик полупроводниковых детекторов представлена на рис. 3. Входной усилитель выполнен на операционном усилителе (ОУ) 544УД2. Рабочий диапазон частот (20 Гц–6 МГц) сверху ограничен характеристикой ОУ, а снизу – постоянной времени цепи обратной связи $R_1 C_1$. В данной схеме использовались резистор $R_1 = 22$ МОм и емкость $C_1 = 680$ пФ. При измерении емкости на детектор через переходную емкость $C \gg C_x$ (в нашем случае $C = 1$ мкФ) подается синусоидальный сигнал постоянной амплитуды $U_r = 3$ В. Связь емкости детектора C_x с выходным напряжением определяется выражением

$$C_x = C_1 \cdot U_{\text{вых}} / U_r \quad (4)$$

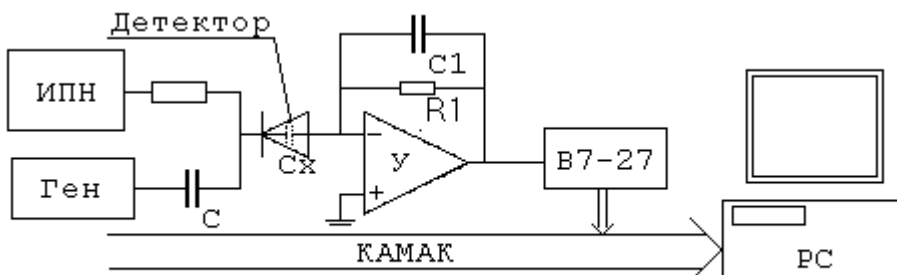


Рис. 3.

Сигнал, промодулированный на ёмкости детектора, измеряется при помощи вольтметра В7-27А и через канал общего пользования (КОП) вольтметра считывается в КАМАК, а затем – в РС. Пределы измеряемых емкостей ограничиваются снизу минимальной амплитудой сигнала, измеряемого вольтметром В7-27А; сверху – амплитудой сигнала на выходе усилителя и находятся в диапазоне 0,1–2500 пФ.

Калибровка усилителя осуществлялась с использованием набора калибровочных емкостей. Точность измерений емкости на всех диапазонах 0,05% и определяется приборной погрешностью вольтметра В7-27А.

3. Измерение температурных зависимостей

Расположение образца детектора при исследовании температурных зависимостей представлено на **рис. 4**. Исследуемый образец арсенид-галлиевого детектора для большей температурной стабильности установлен на массивной медной пластине, имеющей тепловой контакт с термоэлементом Пельтье, с помощью которого задается температура кристалла.

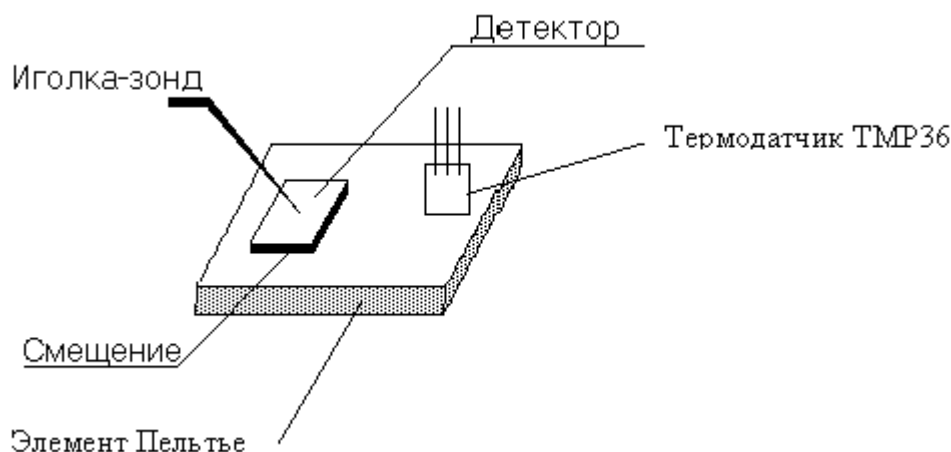


Рис. 4.

Смещение подается на подложку детектора, выходной сигнал снимается иглока-зондом. Рядом с детектором помещается датчик измерения температуры (специализированная микросхема TMP36 [8] производства фирмы Analog Devices), позволяющий измерять температуру в диапазоне от -50 до $+150$ °С с точностью 0.1 °С. Выходное напряжение датчика преобразуется в температуру по следующей формуле:

$$T [^{\circ}\text{C}] = 25^{\circ}\text{C} + \frac{U_{\text{dat}}[\text{mv}] - 750}{10} .$$

Термоэлемент Пельтье, детектор и температурный датчик помещаются в герметично закрываемый объем (температурный бокс), из которого перед измерениями выкачивается воздух для избежания выпадения росы на детектор. Выходной сигнал с термодатчика (**рис. 5**) оцифровывается АЦП, по магистрали КАМАК считывается в РС и используется в качестве сигнала обратной связи в модуле управляющей программы, отвечающем за термостабилизацию. Для регулировки температуры используется цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), выполненный в стандарте КАМАК на основе микросхемы 594ПА1, включенной в режиме с биполярным выходным сигналом. 12-й знаковый бит ЦАП управляет электромагнитным реле, которое меняет направление тока через термоэлемент при переходе от режима подогрева к режиму охлаждения. Применение в схеме источника двухполярного напряжения позволяет

использовать элемент Пельтье как для охлаждения образца, так и для его нагрева. При температуре детектора больше (меньше) заданной система уменьшает или увеличивает ток через термоэлемент, регулируя температуру. Необходимая температура, а также диапазон изменения температуры в процессе измерения вольтамперных и вольтфарадных характеристик задаются программным образом. На сегодняшний день минимально возможная температура для этой системы составляет -25 C^0 , точность поддержания температуры $0,1\text{ C}^0$. Время, необходимое системе для выхода в рабочий режим температур, зависит от начальной температуры и от заданной точности. Принципиальная схема управления термостатом приведена на **рис. 5**, а на **рис. 6** показан график зависимости температуры детектора от времени.

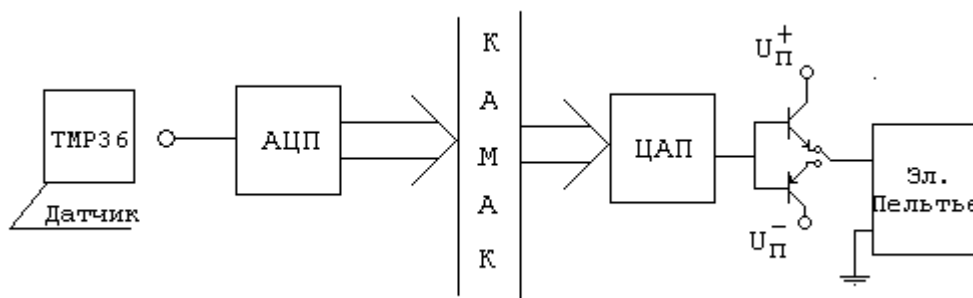


Рис. 5.

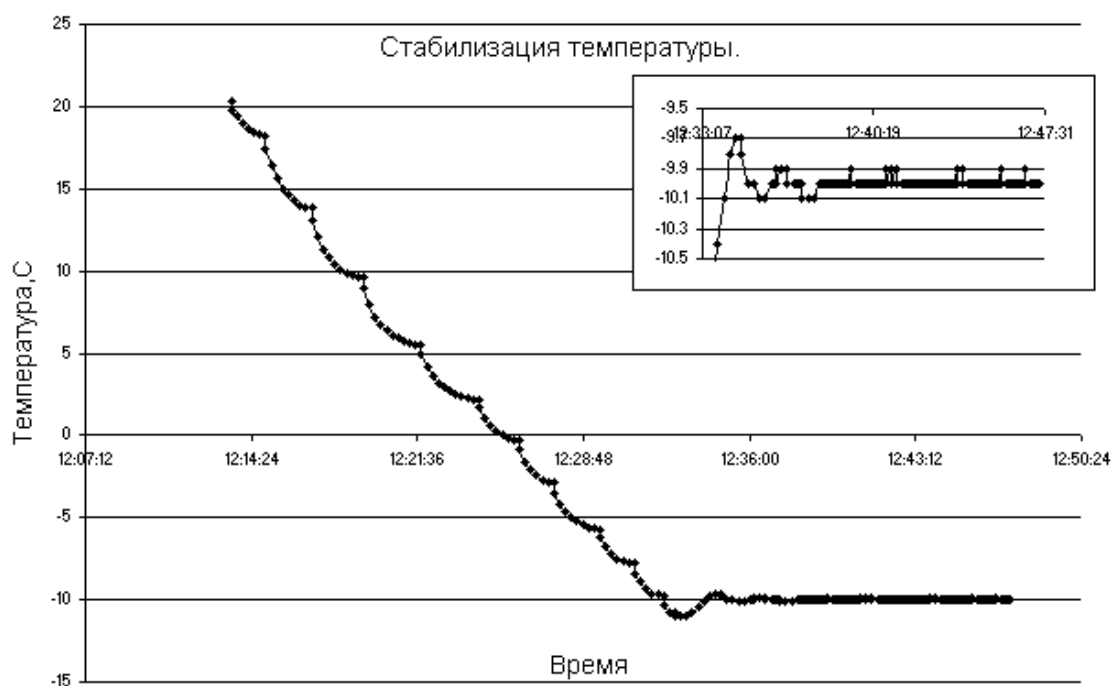


Рис. 6.

Разработано программное обеспечение для данной системы сбора данных. На графическом языке программирования LabView фирмы National Instruments [9, 10] написана программа, в рамках которой можно задавать и изменять напряжение смещения на детекторе, измерять вольтамперные и вольтфарадные характеристики детектора, задавать и с заданной точностью

поддерживать температуру детектора. Полученные данные записываются в файл и выводятся в режиме реального времени в виде графиков на экран РС. Основу программы составляет специально разработанный инструментальный драйвер K331DRV. Его основная задача – связать стандартизированный интерфейс LabView с крейт-контроллером K331 производства ИФВЭ, используя особенности операционной системы MSWindowsNT [12]. Драйвер позволяет реализовать основные функции системы КАМАК по управлению блоками. В настоящее время драйвер зарегистрирован в Государственном Реестре Программ РФ [11].

В заключение на **рис. 7, 8 и 9** представлены примеры измерения характеристик арсенид-галлиевых детекторов [3, 4, 6], разрабатываемых российскими предприятиями. Детальный анализ вольтамперных и вольтфарадных характеристик этих детекторов будет представлен в отдельной работе.

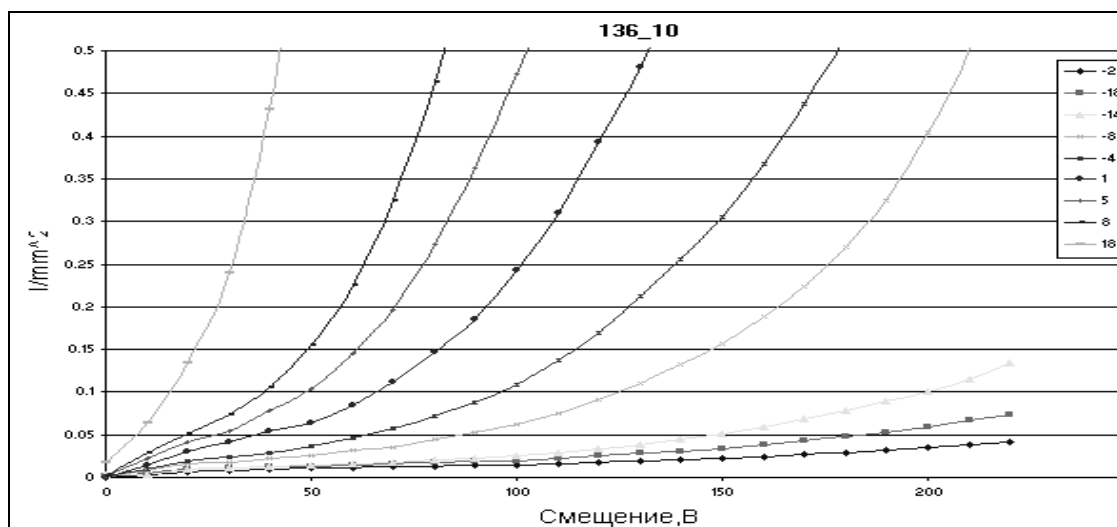


Рис. 7.

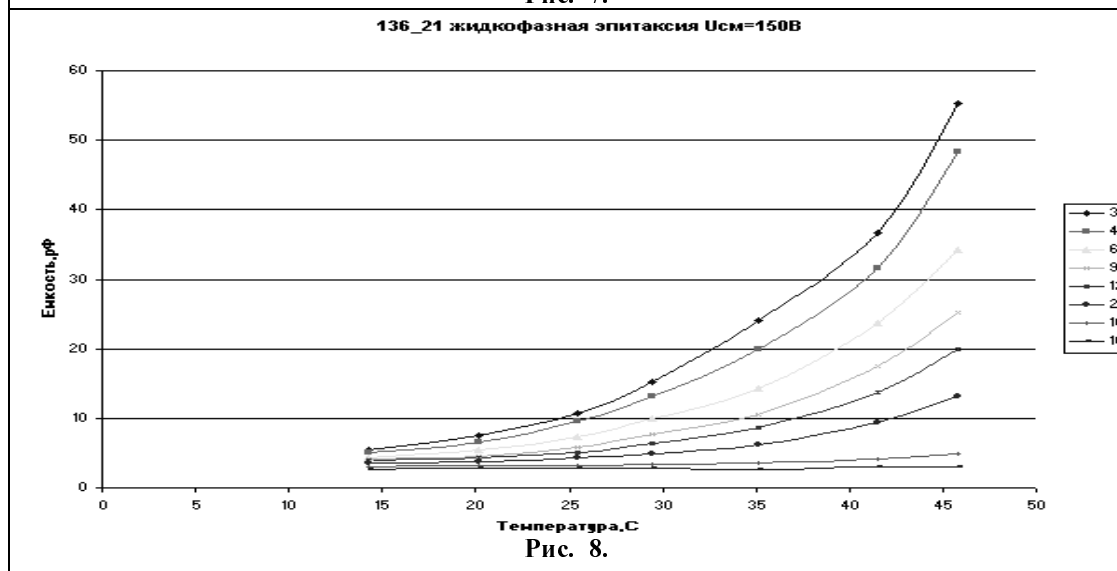
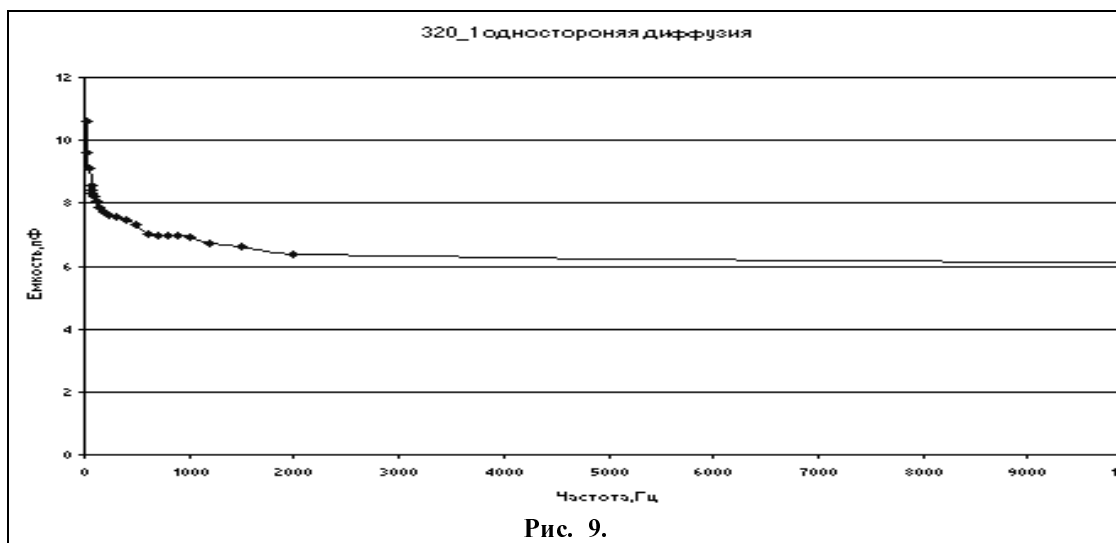


Рис. 8.



Литература

- [1] Левин М.Н. и др. // ПТЭ, 1992, №2, с.119.
- [2] Кремьинь В.Т. // ПТЭ, 1998, №1, с.78.
- [3] Ayzenshtat G.I. et al . // NIM A466 (2001) p.25.
- [4] Budnitsky D.L. et al . // NIM A466 (2001) p.33.
- [5] www.istc.ru, Project #1107-99.
- [6] Ayzenshtat G.I. et al. – Paper submitted to 3-d International Workshop on Radiation Imaging Detectors, 23-27 September 2001, Sardinia, Italy.
- [7] Single Supply, Rail to Rail Low Power FET-Input Op AMP Data Sheet (Rev.B, 8/99).
- [8] Low Voltage Temperature Sensor, $V_o=750$ mV at + 25 Deg C Data Sheet (Rev.B, 9/01).
- [9] LabView Data Acquisition Basics Manual, National Instruments, 1998, Part Number 320997C-01.
- [10] G Programming Reference Manual, National Instruments, 1998, Part Number 321296B-01.
- [11] Свидетельство об официальной регистрации программы К331DRV в Государственном Реестре Программ для ЭВМ №2001611060.
- [12] Microsoft WindowsNT Workstation, Microsoft Press, 1998, Part Number X03-58205A.

Рукопись поступила 23 октября 2001 года

С.Н. Головня и др.
Установка для измерения параметров-галлиевых
полупроводниковых детекторов.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы WORD.

Редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 29.10.2001. Формат 60 x 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 0,87. Уч.-изд.л. 0,7. Тираж 130. Заказ 177. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.1997.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

