

СЗ44.1м

Н-342

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

ПТЭ, 1966, №, с. 65-68

31/VIII/61

P-2282



В.В.Наумов, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин
В.Ф.Титова

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ
ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

АБСОЛЮТНО ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

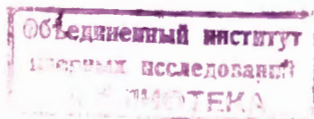
P-2282

В.В.Наумов, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин
В.Ф.Титова

3495/пр.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ
ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Направлено в ПТЭ



Быстрое развитие лазерной техники привело к созданию ряда новых полупроводниковых приборов - когерентных и некогерентных источников света. Эти приборы представляют собой $p-n$ переходы с высоким значением излучательной рекомбинации при инжекции несвязанных носителей в базу переходов. Когерентные источники света (полупроводниковые лазеры) отличаются от некогерентных в основном наличием оптического резонатора и значительно большим квантовым выходом. Когерентные и некогерентные полупроводниковые источники света находят применение в технике связи^{/2/}. Некогерентные источники начинают использоваться для подкачки твердотельных лазеров. Относительно узкое спектральное распределение излучения (100-300 Å) и достаточно высокий квантовый выход некогерентных источников позволяют значительно повысить к.п.д. лазеров и их рабочую частоту. Особый интерес представляет применение некогерентных источников света с большим квантовым выходом в оптико-электронных устройствах^{/2/}. В этих устройствах связь между элементами схем осуществляется с помощью света, что в значительной степени ослабляет перекрестные паразитные связи и в принципе позволяет построить более быстрые элементы и схемы.

В экспериментальной ядерной физике некогерентные полупроводниковые источники видимого света (4000 ÷ 7000 Å) успешно используются для моделирования процесса прохождения ядерных частиц через сцинтилляционные и черенковские счетчики^{/4/}. Аналогично этому оказалось возможным моделировать процесс прохождения частиц через полупроводниковые счетчики, которые в последнее время все шире используются в экспериментальной ядерной физике и обычно обладают фотодиодными характеристиками^{/5/}. Высокое амплитудное разрешение полупроводниковых детекторов, достигающее долей процента, независимость характеристик от магнитных полей ставят эти приборы вне конкуренции среди других детекторов, используемых в спектрометрии низких энергий. В настоящее время полупроводниковые детекторы начинают применяться в экспериментах при более высоких энергиях, достигающих нескольких Гэв^{/6/}. При моделировании прохождения ядерных частиц через полупроводниковые счетчики с помощью некогерентных источников света на основе $p-n$ переходов ширина амплитудного распределения импульсов на выходе счетчика определяется аппаратным разбросом, т.к. собственный

разброс некогерентных источников света определяется распределением Пуассона и не превышает 0,2% ^{/7/} при моделировании частиц, теряющих в счетчике энергию 1 Мэв.

В случае использования телескопов и годоскопов на полупроводниковых счетчиках некогерентные источники света позволяют контролировать работу всего измерительного тракта, что трудно осуществить другими способами. Кроме того, полупроводниковые источники света можно использовать в системах автоматической стабилизации коэффициента передачи всей измерительной системы.

Для германиевых и кремниевых счетчиков наиболее подходящими являются источники света из арсенида галлия. При достаточно высоком квантовом выходе (10^{-3} фотон/электрон при 20°C) длина волны, соответствующая максимуму в спектральном распределении излучения, составляет 9000 Å, что хорошо согласуется со спектральной чувствительностью счетчиков ^{/5/}. Ширина запрещенной зоны германия меньше, чем кремния, поэтому и для германиевых детекторов такое соответствие будет иметь место.

В данной работе описывается технология изготовления и некоторые характеристики источников света из арсенида галлия и рассматривается система калибровки телескопа из полупроводниковых счетчиков.

Технология изготовления источников света из GaAs

Источники рекомбинационного излучения изготовлены на основе арсенида α -типа с концентрацией основных носителей $n = (1 \pm 3)10^{17} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu = 0,35 \text{ м}^2/\text{в.сек}$, р-п- переход создавался диффузией цинка в атмосфере мышьяка. Омический контакт с р- и n- областями создавался напылением и последующим сплавлением индия в арсенид галлия. Кристаллы помещались в миниатюрный стеклянный корпус и герметизировались. Контактom к α -типу служит коваровый золоченый диск, сваренный в корпус, к р-типу - пружина из золоченого молибдена. Оба контакта прижимные, но предварительная металлизация арсенида галлия индием обеспечивает надежный контакт. Излучение выходит через торцы кристалла.

Характеристики источников света из GaAs

Спектральные характеристики источников света из GaAs измерялись с помощью спектрофотометра СФ-4 при импульсном режиме работы источников. На рис. 1 приведено типичное спектральное распределение излучения источника при 20°C. Ток в импульсе через переход составлял $1 \frac{1}{2} - 4$ а. Блок-схема установки, с помощью которой измерялись временные характеристики источников света, приведена на рис. 2. Собственный фронт нарастания фотоумножителя составлял 7 нсек. На рис. 3 приведена осциллограмма импульса света от одного из источников. Вычисленная длительность

переднего фронта не превышает 6 нсек. Определить время нарастания с лучшей точностью этим методом пока затруднительно, т.к. собственные фронты фотоумножителей, чувствительных в области 9000 \AA , обычно превышают $10 \div 15$ нсек. Получить собственный фронт для ФЭУ-28 7 нсек удалось при освещении лишь центральной части фотокатода диаметром 2 мм. Задний фронт светового импульса для различных партий исходных монокристаллов изменялся в пределах $7 \div 150$ нсек, что, видимо, объясняется плохой повторяемостью технологических процессов получения монокристаллов арсенида галлия. Характерная температурная зависимость светового сигнала от источника приведена на рис. 4. Зависимость амплитуды светового импульса от тока через источник света линейна во всей области измерения ($0 \div 10$ а) при длительности импульса тока 50 нсек. Регистрация световых импульсов в этих измерениях осуществлялась кремниевыми фотодиодами. Квантовый выход источников света определялся с помощью калиброванного фотодиода и составлял обычно 10^{-3} фотон/электрон.

Система калибровки телескопа

Для телескопа из четырех ковров "толстых" ^{1/5}/ кремниевых детекторов авторами была разработана система калибровки и периодической проверки работы, основанная на использовании некогерентных источников света из арсенида галлия. Проверка работы и калибровка производятся световыми импульсами постоянной амплитуды, имитирующими прохождение ядерных частиц через полупроводниковые детекторы.

На рис. 5 представлена принципиальная схема генератора света. Синхроимпульс положительной полярности с фронтом не хуже 0,1 нсек и амплитудой около 5 в запускает одновибратор (транзисторы T_1, T_2). С выхода одновибратора импульс длительностью 1 нсек и амплитудой 8 в подается на составной транзистор (T_3, T_4), работающий в ключевом режиме. В коллектор составного транзистора включается один или последовательно несколько источников света из арсенида галлия. Ток, проходящий через источник, зависит от его динамического сопротивления и напряжения источника питания. Для р-п-перехода с хорошей диодной характеристикой и при напряжении питания 18 в ток, проходящий в импульсе через него, составляет 1,5 а.

На рис. 6 показана обычная схема включения полупроводникового счетчика ядерного излучения. Амплитуда импульса с детектора зависит от амплитуды световой вспышки и от расстояния до источника света.

На рис. 7 изображена блок-схема установки, на которой производилось испытание характеристик генератора света. Синхроимпульс подавался с задающего генератора (1) (генератор 28-И). Импульс с детектора (3), усиленный спектрометрическим усилителем (5) (УИС-2), регистрировался 256-канальным амплитудным анализатором (6). Для того, чтобы исключить нестабильность во времени усилителя и анализа-

тора, параллельно импульсу с детектора на вход усилителя подавался сигнал с генератора точной амплитуды (7). Стабильность работы устройства в основном зависит от стабильности генератора света, так как на рис. 8 а и 8 б видно, что амплитуда сигнала с кремниевго детектора не зависит от температуры и в достаточно широкой области не зависит от напряжения питания. На стабильность генератора может влиять температура окружающей среды и частота запускающих импульсов. На рис. 9 представлены характеристики генератора света: зависимость амплитуды тока в ключе от частоты запускающих импульсов (а) и от температуры (б). При сравнении температурных характеристик, приведенных на рис. 4 и рис. 8а, видно, что основным нестабильным элементом является источник света, коэффициент температурной нестабильности которого составляет 0,5%/град. С. Для стабилизации амплитудной характеристики генератора света в диапазоне $10 \div 40^\circ\text{C}$ была применена параметрическая стабилизация. В эмиттер составного транзистора (см. рис. 5) включены параллельно два термосопротивления по 1,2 ома. На рис. 10 показана зависимость амплитуды светового импульса от температуры при использовании параметрической стабилизации. Необходимо отметить, что так как на выходе детектора получаются сигналы в несколько милливольт, а через источник света проходят токи величиной в несколько ампер, имеется возможность наводки электрического сигнала с генератора света на выход детектора. Для устранения наводок необходимо применять электрическую экранировку детектора и монтаж генератора располагать дальше. Для калибровки телескопа из четырех счетчиков можно было использовать четыре последовательно включенных в коллектор ключа (рис. 5) источника света из GaAs , а амплитуду сигнала в каждом канале менять путем изменения расстояния от источника до детектора. Но так как амплитуда светового импульса достаточно велика, мы применили один источник света и свет от него с помощью световода из органического стекла развели ко всем детекторам. Амплитуду сигнала в каналах можно изменять нанося на поверхность световодов черную краску с оптическим контактом.

В заключение пользуемся случаем поблагодарить А.Н.Симаева за постоянный интерес к работе, Э.К.Батманову за помощь в измерениях, Л.А.Фадеева за монтаж системы калибровки и проверки телескопа из полупроводниковых счетчиков.

Л и т е р а т у р а

1. B.J.Keyes, T.M.Ouist, R.H.Redlher, M.J.R.Hudson, C.R.Grand, J.W.Meyer. *Electronics*, 36, N.14, 38 (1963).
2. M.A.Gilleo, J.T.Last, *Electronics*, 36, N.47, 23 (1963).
3. J.T.Tippett, H.E.Puthobb, *Electronics*, 36, N.18, 72 (1963).
4. А.Ф.Думаидев, В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, В.И.Рыжанин. *ЖЭТФ*, 47, 84 (1964).

5. Ю.К.Акимов, Вая Цженъ-ва, А.И.Сидоров, М.И.Эпштейн. Оптические характеристики полупроводниковых детекторов ядерных частиц и их связь с поверхностными явлениями. Препринт ОИЯИ, 1889, Дубна, 1984.
6. Ю.К.Акимов, А.И.Калинин, В.А.Никитин, В.С.Пантуев, В.А.Свиридов, А.Н.Сидоров, М.М.Хачатурян. ЖЭТФ, 48, 787 (1985).
7. G.Amsel, C.Zagde, Rev.Sci Instr., 35, 1538 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 июля 1985 г.

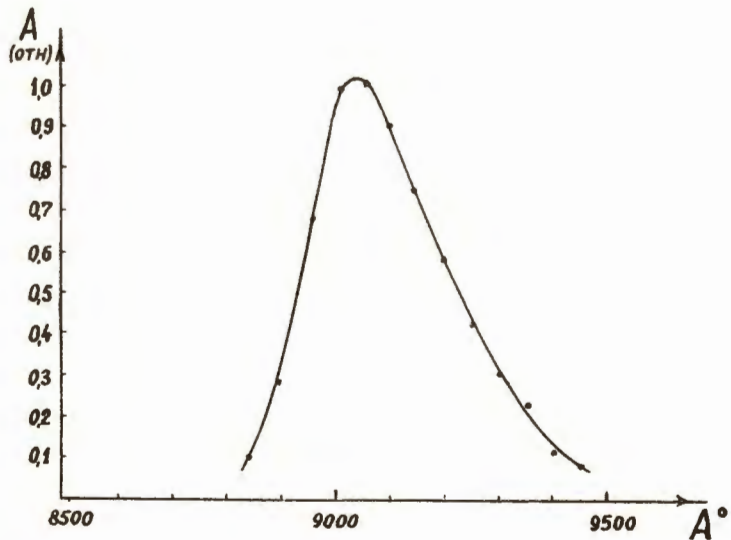


Рис. 1. Типичное спектральное распределение излучения источника света из GaAs при 20°C.

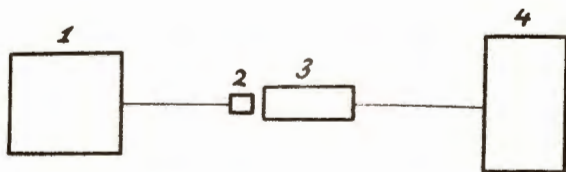


Рис. 2. Блок-схема установки для измерения временных характеристик источников света.

- 1 - генератор наносекундных импульсов с фронтом нарастания менее 1 нсек.
- 2 - некогерентный источник света из GaAs.
- 3 - фотоумножитель типа ФЭУ-28.
- 4 - осциллограф с полосой пропускания 80 Мгц.

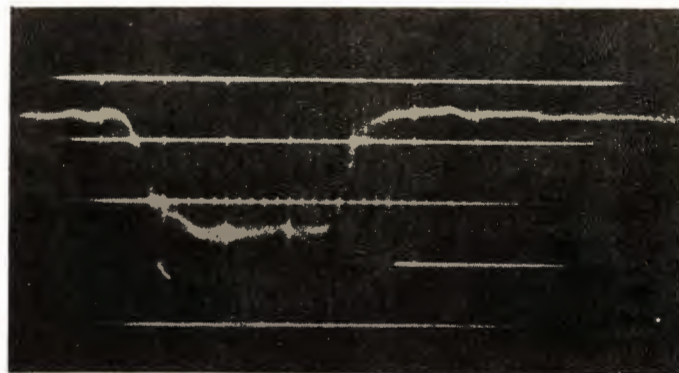


Рис. 3. Осциллограмма импульса света от одного из источников. Скорость развертки осциллографа 20 нсек/см; длительность электрического импульса, подаваемого на источник света, - 50 нсек.

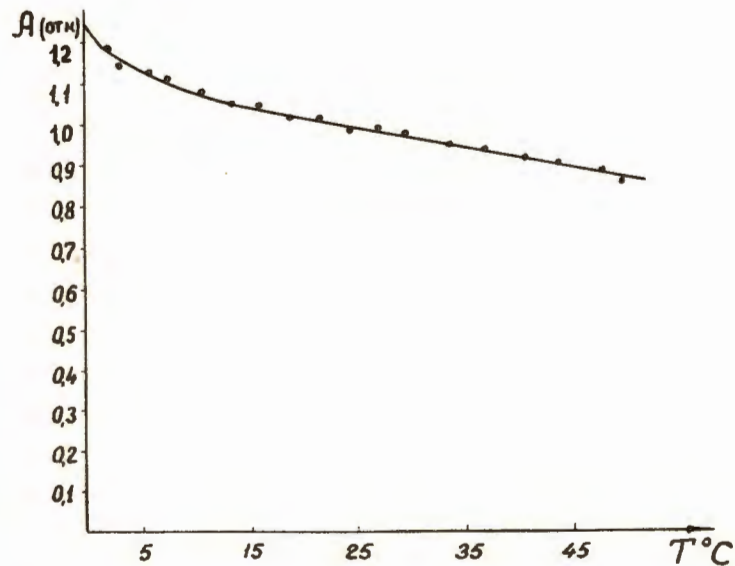


Рис. 4. Зависимость амплитуды светового импульса источника от температуры.

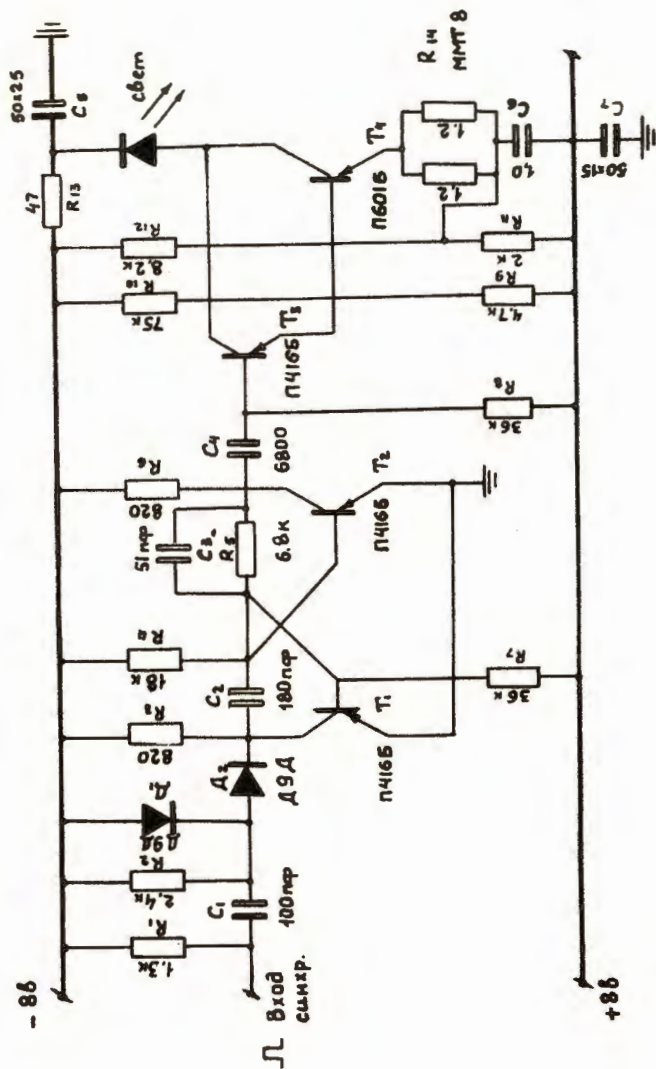


Рис. 5. Принципиальная схема генератора света.

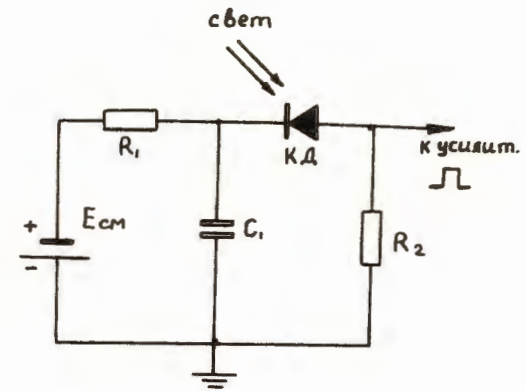


Рис. 6. Принципиальная схема включения полупроводникового детектора.

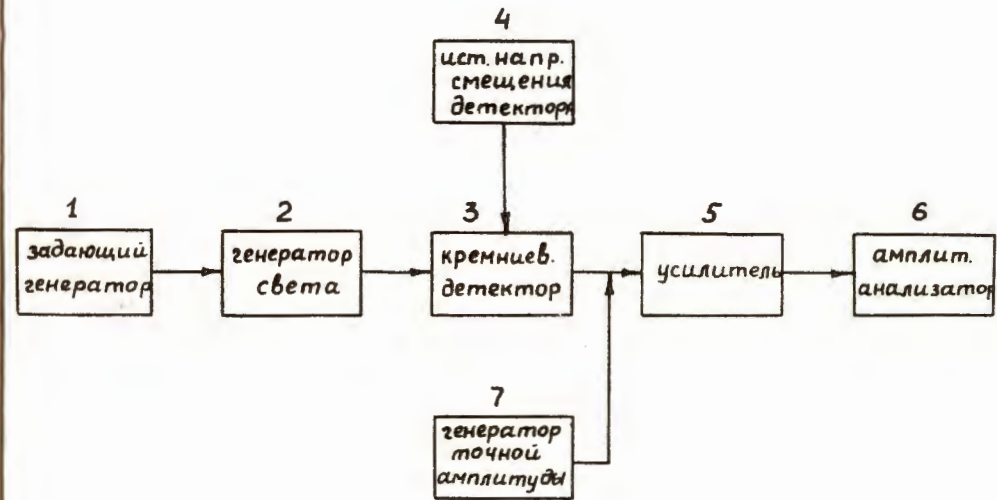
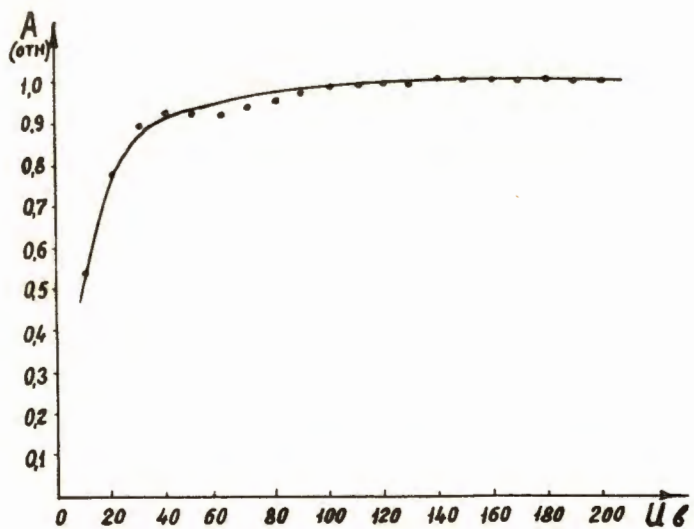
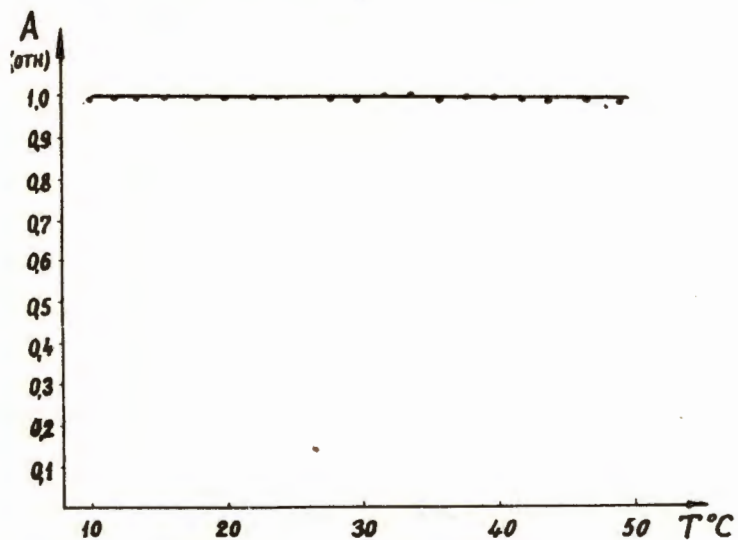


Рис. 7. Блок-схема установки для испытания характеристик генератора света.

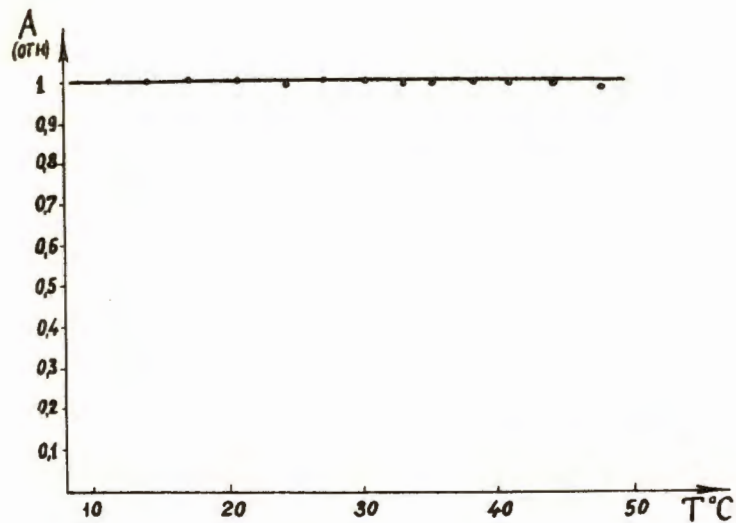


а

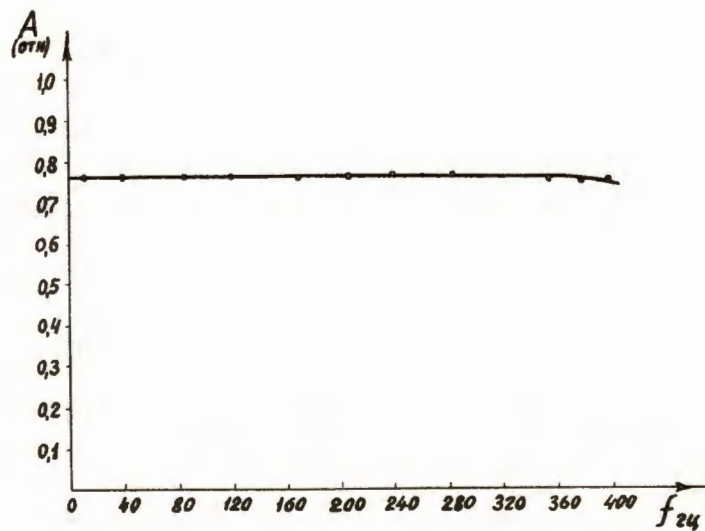


б

Рис. 8. Зависимость амплитуды сигнала с кремниевого детектора от напряжения смещения (а) и от температуры (б).



б



а

Рис. 9. Зависимость амплитуды коллекторного тока ключевого транзистора от частоты запускаемых импульсов (а) и от температуры (б).

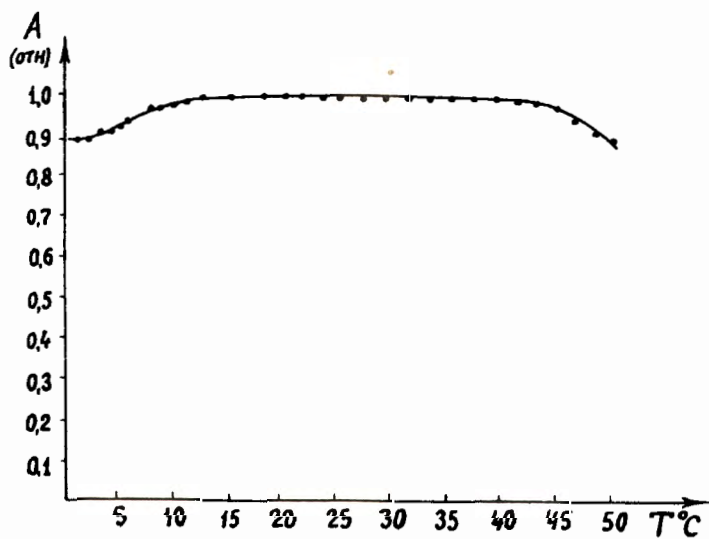


Рис. 10. Зависимость амплитуды светового импульса от температуры при использовании параметрической стабилизации.