

УДК 539.1.074

ФИЗИКА

Академик АН Армянской ССР Э. Г. Мирзабекян, Ю. А. Абрамян,
З. Н. Адамян, В. М. Арутюнян, Р. Г. Симонян

Высокочувствительный инфракрасный радиометр

(Представлено 7/IV 1977)

Общие принципы радиометрии ⁽¹⁾ можно применить для измерения интенсивности ИК-излучения, если в качестве входного преобразователя применить соответствующий ИК-фотоприемник. Большие успехи в разработке высокочувствительных ИК-фотоприемников позволяют построение в принципе ИК-радиометров для измерений малых потоков лучистой энергии ⁽²⁻³⁾.

Среди полупроводниковых приемников излучения заметный интерес вызывают инжекционные S-фотоприемники, имеющие на прямой ветви вольтамперной характеристики (ВАХ) участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) S-типа ⁽⁴⁻⁶⁾.

В качестве материала для изготовления S-фотоприемников можно использовать различные полупроводники. Однако выбор кремния для этих целей целесообразен из-за возможности функционирования S-фотоприемников без охлаждения, отлично разработанной технологии работы с Si, его высоким усилением и чувствительностью к излучению ближнего ИК-диапазона. В этих диодах по сравнению с фоторезисторами из того же компенсированного полупроводника имеет место сильное внутреннее усиление (с величинами коэффициента усиления в несколько порядков) ^(4,6,7).

В данной работе помимо схемного совершенствования радиометра по сравнению с ⁽²⁾ в качестве ИК-приемника использованы разработанные в ИРФЭ АН Арм. ССР высокочувствительные длинные S-диоды из Si, компенсированного цинком ⁽⁵⁻⁷⁾.

В качестве исходного материала использовали Si марки БКЭФ с удельным сопротивлением 4 ом. см. Диффузию Zn в Si проводили в кварцевых ампулах, в которых обеспечивали вакуум менее 10^{-4} мм рт. ст. Навеску цинка в ампуле выбирали в таком количестве, чтобы при температуре диффузии ($+940^{\circ} \div 950^{\circ}\text{C}$) давление паров находилось в пределах 1,5—2 атмосфер. Время диффузии—4 ÷ 5 часов, скорость охлаждения после диффузионного отжига—порядка 300 $\frac{\text{град.}}{\text{мин}}$

Методом снятия слоев и измерения удельного сопротивления компенсированного кремния установлено, что концентрационный профиль цинка не описывается, как обычно, erfc -функцией, а состоит из двух участков. Первый, приповерхностный участок характеризуется резким падением концентрации цинка с расстоянием, второй — почти равномерным распределением Zn в Si. Такое распределение Zn существенно изменяет важнейшие характеристики S-фотоприемников (⁷). p⁺- и n⁺-слои создавали сплавлением Al и Au+0,1%, соответственно.

На статической ВАХ после области закона Ома наблюдались зависимости $j \sim v^2$, участок сублинейной зависимости тока j от напряжения V , переходящий вновь в зависимость $j \sim v^2$, участки ОДС S-типа и резкого возрастания тока (вертикаль). Наибольшая фоточувствительность наблюдалась на участке сублинейности. При больших потоках лучистой энергии участок ОДС исчезал. Интегральная чувствительность изготовленных S-фотоприемников из Si<Zn>превышала 10^3 А/Вт, площадь рабочей светочувствительной поверхности была порядка $2 \cdot 10^{-2}$ см². Максимуму спектральной чувствительности соответствовала длина волны 0,98 мкм.

На участке ВАХ до срыва, начиная с $V \geq 0,5V_{cp}$, наблюдались релаксационные или синусоидальные колебания большой амплитуды, что исключает использование при этих напряжениях S-диодов в радиометре.

Измерения спектральной плотности шумов тока S_I и квадрата фотоотклика i^2 проводили при малых напряжениях при освещении монохроматическим светом с $\lambda = 1$ мкм и с помощью светодиода в частотном диапазоне 20 Гц—20 кГц. В большей части частотного диапазона формы зависимостей S_I и i^2 близки друг к другу, причем низкочастотные «плато» и последующий спад с частотой по закону, близкому к f^{-2} , указывают на генерационно-рекомбинационную природу наблюдаемых флуктуаций. Характерными для исследуемых приборов являются аномальные зависимости S_I и i^2 от тока смещения и освещения.

Исследования импульсных характеристик в темноте и при освещении показали, что основным временем, определяющим быстродействие S-фотоприемников, является время восстановления $\tau \approx 5$ мс.

На основании анализа полученных результатов, была подобрана частота модуляции радиометра $f = 25$ Гц, позволившая реализовать приведенные ниже малые пороговые мощности и большие величины обнаружительной способности.

Модуляция ИК-излучения осуществляется с помощью вращающегося диска с отверстиями, установленного на оси синхронного двигателя СД-54. Диск одновременно прерывает поток излучения светодиода АЛ-107А на фотодиод ФДК-1. Указанная оптронная пара служит для формирования опорного сигнала с частотой и длительностью основного сигнала от источника ИК-излучения. Синхронный двигатель с зачерненным диском, оптронная пара, оптическая система для ввода ИК излу-

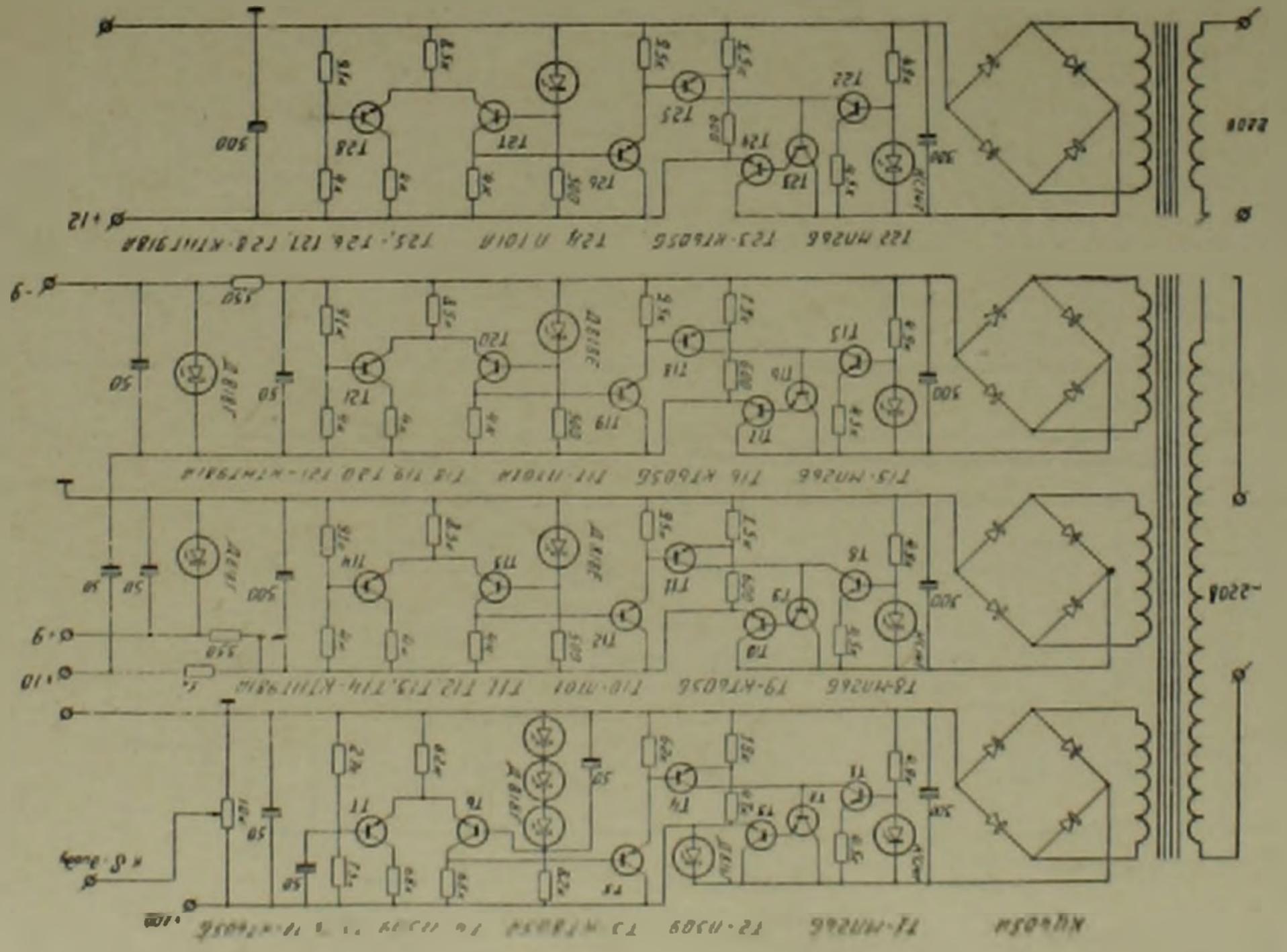


Fig. 2

чения и S-диод устанавливаются в едином корпусе—модуляторе. Система для ввода ИК-излучения и S-диод в модуляторе крепятся соосно друг против друга. Также расположена и оптронная пара опорной системы, но на диаметрально противоположной стороне диска.

Принципиальная схема радиометра показана на рис. 1.

Модулированное с частотой 25 Гц ИК-излучение падает на поверхность S-диода, преобразуется в электрический сигнал и поступает на вход предусилителя на транзисторе Т1-КП303Е. Приведенные к входу шумы предусилителя составляют 15—17 мкВ, что на порядок меньше шумов S-диода. После согласующего эмиттерного повторителя на транзисторе Т2 и усиления последующим каскадом (Т3) сигнал поступает на вход синхронного интегратора (Т4, Т5—КТ011А). Транзисторы Т4 и Т5 коммутируются меандром опорного канала. Меандр получен усилением и формированием напряжения от фотодиода ФДК-1 с помощью транзисторов Т11-Т17. Синхронный интегратор выполняет роль гребенчатого фильтра, частота настройки которого определяется частотой опорного сигнала и устраняет перегрузку шумами последующих каскадов. Полоса пропускания такого фильтра определяется постоянной времени интегрирующих цепочек (8).

После фильтрации, дальнейшего усиления микросхемой К284УД1 сигнал через делитель, фазоинвертирующий каскад (Т6), эмиттерные повторители (Т7, Т8) поступает на вход фазового детектора (КИУТ221Б). Запуск последнего производится подачей на него опорного напряжения с коллектора транзистора Т14. С выхода фазового детектора сигнал через интегрирующие цепочки и дифференциальные эмиттерные повторители (Т9, Т10) поступает на выход для записи.

Питание каскадов радиометра осуществляли посредством высокостабилизированных блоков с выходными напряжениями 100В, 12В, 10В, ±9В (рис. 2). Полную развязку сигнального и опорного каналов осуществляли двумя сетевыми трансформаторами.

Получены следующие результаты записи—эквивалентная мощность шума $5,4 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}$ при постоянной времени радиометра 5с, пороговая чувствительность— $1,2 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$.

В заключение отметим, что изучение флуктуационных явлений в S-диодах с инжектированной в компенсированные полупроводники электронно-дырочной плазмой, выявление природы шума и путей его подавления при сохранении большого внутреннего усиления в диодах позволит реализовать при оптимальной модуляции и температуре диодов еще более высокочувствительные и малогабаритные ИК-радиометры.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Է. Հ. ՄԻՐԶԱԲԵԿՅԱՆ, ՑՈՒ. Ա. ԱՐՐԻԶԱՄՅԱՆ,
Զ. Ն. ԱԿՈՄՅԱՆ, Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ռ. Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

Ռաբձր զգայունության ինֆրակարմիր ուղիղափ

Պատրաստված է ուղիղափ 0,89—1,2 միկրոն ալիքային տիրույթում գտնվող ինֆրակարմիր ճառագայթների հայտնարերման և հիդրուսթյան շափման համար: Որպես մուտքային ֆոտոդզայուն ընդունիչ օդտադործվում է գինկով կոմպենսացված սիլիցիումից պատրաստված S-դիոդ: Բերված է ուղիղափի յրիվ սկզբունքային սխեման և տրված է կոնստրուկցիայի նկարագրությունը:

Կատարված չափումները ցույց տվեցին, որ շատեցված դիոդի օգտագործման դեպքում ուղիղափի շեմային զգայունությունը կազմում է $1,2 \cdot 10^{-12}$ վատ/հերց¹:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Д. Д. Краус, Радиоастрономия, Изд. Сов. радио, М., 1973. ² В. В. Козелкин, И. Ф. Усольцев, Основы инфракрасной техники, Изд. Машиностроение, М., 1974. ³ Э. Г. Мирзабекян, Р. Г. Симонян, Ю. А. Абрамян, ПТЭ, № 5, 1976. ⁴ И. М. Вихулин, В. И. Стафеев, Полупроводниковые датчики, Изд. Сов. радио, М., 1975. ⁵ Г. М. Авакьянц и др., ДАН Арм. ССР, т. 57, № 3, (1973); Микроэлектроника, т. 4, № 1, 1974. ⁶ Z. N. Adamyan, V. M. Nazutunyan, Electron Technology, 8 № 3/4, 45 (1975). ⁷ В. М. Арутюнян, Ф. В. Гаспарян, Известия АН Арм. ССР, Физика, т. 12, № 6 (1976). ⁸ А. В. Ипатов, А. Б. Берлин, Известия ВУЗов СССР, Радиофизика, т. 16, № 5 1973.