

А. ГЕРСТ, Елена АСАРИ

АВТОМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОВОДИМОСТИ ВЫСОКООМНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Проводимость высокоомных полупроводников под воздействием внешних условий может изменяться в довольно широких пределах. Так, например, проводимость монокристаллов сульфида кадмия при освещении или нагревании нередко увеличивается на пять и более порядков.

В таких случаях целесообразно представлять проводимость в логарифмическом масштабе. Это позволяет не только более наглядно представлять результаты измерения, но и легко обнаруживать и графически линеаризировать характерные для полупроводников экспоненциальные зависимости проводимости от обратной температуры образца, времени или других величин, выступающих в качестве аргумента на соответствующих графиках. Однако составление таких графиков обычно требует много времени на тривиальную, но трудоемкую математическую обработку первичных экспериментальных данных.

В настоящей работе описывается комплексная аппаратура, предназначенная для автоматического измерения и регистрации температурных и спектральных характеристик полупроводников в виде регистрограмм, удобных для проведения теоретического анализа результатов и определения физических параметров исследуемых объектов.

Блок-схема установки приведена на рис. 1. Регистрирующим прибором на выходе измерительной схемы служит двухкоординатный самописец, по оси ординат диаграммы которого ведется запись проводимости образца, а отклонение пера по оси абсцисс пропорционально энергии возбуждающих образец квантов света, обратной температуре или времени.

Измерение тока и проводимости в предлагаемой установке возможно как в линейном, так и логарифмическом масштабе. Обычно логарифмическое преобразование тока основано на зависимости напряжения на вакуумном или полупроводниковом диоде от величины протекающего через него тока. Однако соответствующие серийно выпускаемые измерительные приборы не предназначены для преобразования токов ниже 10^{-7} а. В то же время для измерения очень слабых токов (до 10^{-11} а) существуют лабораторные приборы [1], в которых используется характеристика эмиттерного перехода транзистора 2N930.

На базе электрометра с динамическим конденсатором В2-5 нами создан логарифмический электрометр, преобразующим элементом в котором служит специально подобранный кремниевый диод типа Д809.

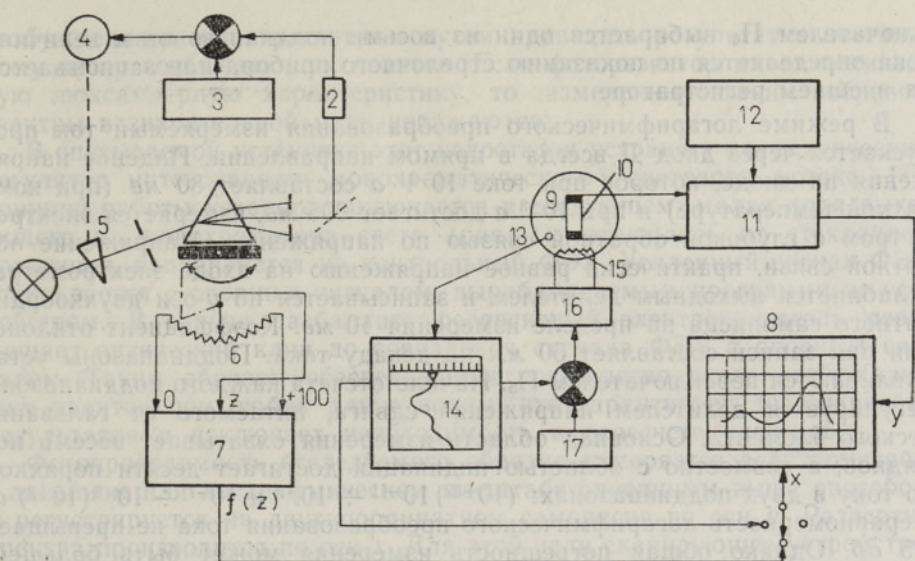


Рис. 1. Блок-схема установки:

1 — монохроматор, 2 — ФЭУ, 3 — программное устройство опорного напряжения, 4 — реверсивный электромотор, 5 — оптический клин, 6 — потенциометр-зататчик, 7 — функциональный преобразователь, 8 — двухкоординатный регистратор, 9 — кристалл, 10 — исследуемый образец, 11 — электрометр, 12 — источник измерительного напряжения, 13 — термопара, 14 — автоматический потенциометр КСП-4, 15 — нагреватель, 16 — источник питания нагревателя, 17 — программный задатчик температуры.

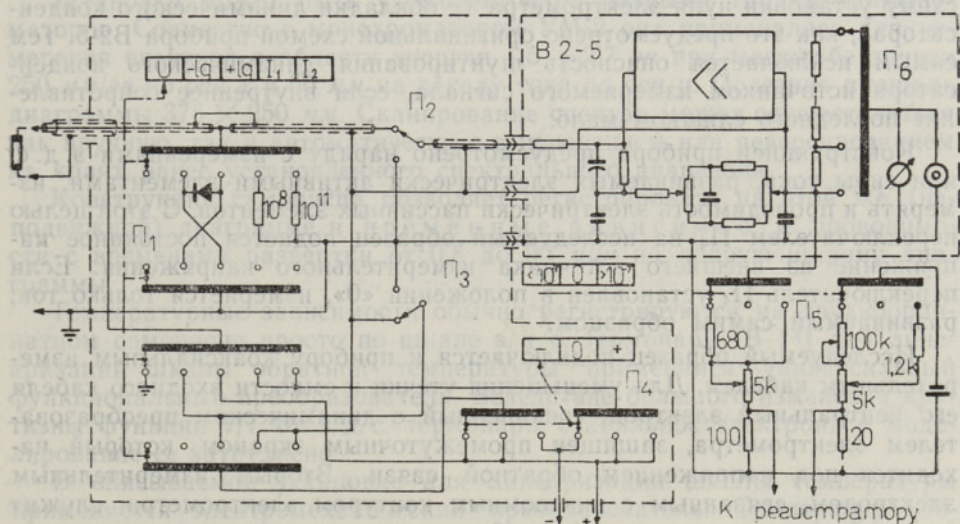


Рис. 2. Электрическая схема логарифмического электрометра.

Общая электрическая схема прибора представлена на рис. 2. В зависимости от положения переключателя режима работы Π_1 прибором можно измерять э. д. с. источника тока (шкалы $10 \text{ мВ} \div 30 \text{ в}$), логарифм тока обеих полярностей или ток в линейном масштабе на двух диапазонах (шкалы $10^{-13} \div 3 \cdot 10^{-10}$ и $10^{-10} \div 3 \cdot 10^{-7} \text{ а}$). В последнем случае пере-

ключателем Π_6 выбирается один из восьми поддиапазонов и величина тока определяется по показанию стрелочного прибора или записывается на внешнем регистраторе.

В режиме логарифмического преобразования измеряемый ток пропускается через диод D всегда в прямом направлении. Падение напряжения на диоде, которое при токе 10^{-11} а составляет 80 мв (при комнатной температуре) и при 10^{-3} а достигает 605 мв, измеряется электрометром с глубокой обратной связью по напряжению. Напряжение обратной связи, практически равное напряжению на входе электрометра, ослабляется выходным делителем и записывается по y -оси двухкоординатного самописца на пределе измерения 10 мв. Коэффициент отклонения при записи составляет 50 мм на декаду тока. Поддиапазоны устанавливаются переключателем Π_5 . Начало отсчета каждого поддиапазона регулируется делителем напряжения сдвига, питаемого от гальванического элемента. Основная область измерения охватывает восемь порядков, а совместно с областью индикации достигает десяти порядков по току в двух поддиапазонах: $(10^{-12})10^{-11} \div 10^{-7}$ и $10^{-7} \div 10^{-3}(10^{-2})$ а. Неравномерность логарифмического преобразования тока не превышает 0,5 дб. Однако общая погрешность измерения может быть большей, если напряжение на измерительном диоде сравнимо с падением напряжения в цепи исследуемого источника тока, т. е. если эффективное входное сопротивление измерительного прибора не достаточно мало. Последнее можно уменьшить в 1000 раз, если напряжение на диоде скомпенсировать за счет обратной связи. Переход к логарифмическому измерению по компенсационной схеме осуществляется переключателем Π_3 . Компенсационная схема работает нормально даже при больших токах (до 10^{-3} а) благодаря тому, что напряжение обратной связи снимается непосредственно с выхода синхронного детектора усилителя, а не через схему установки нуля электрометра (с обкладки динамического конденсатора), как это предусмотрено оригинальной схемой прибора В2-5. Тем самым исключается опасность шунтирования динамического конденсатора источником измеряемого сигнала, если внутреннее сопротивление последнего слишком мало.

Конструкцией прибора предусмотрено наряду с измерениями э. д. с. или силы тока, развиваемых электрически активными элементами, измерять и проводимость электрически пассивных элементов. С этой целью переключателем Π_4 на исследуемый образец подается постоянное напряжение из внешнего источника измерительного напряжения. Если переключатель Π_4 установлен в положении «0», измеряется только ток, развиваемый самим образцом.

Исследуемый образец подключается к прибору коаксиальным измерительным кабелем. Для уменьшения утечки и емкости входного кабеля его центральный электрод, соединенный с динамическим преобразователем электрометра, защищен промежуточным экраном, который находится под напряжением обратной связи. Вторым измерительным электродом, связанным с низкоомным контуром электрометра, служит внешний экран измерительного кабеля.

Измерение спектрального распределения фотопроводимости заключается в определении значений фототока, соответствующих разным длинам волн (энергиям квантов) возбуждающего света, при условии постоянства числа квантов, падающих на фотопроводник. Во избежание усложнений, вызываемых непрерывным измерением и выравниванием интенсивности возбуждения, фототок обычно принято измерять в условиях спектрально изменяющейся интенсивности

возбуждения и лишь расчетным путем приводить результат к постоянному числу возбуждающих квантов. Если фоторезистор имеет нелинейную люксамперную характеристику, то измеренные таким образом спектры в значительной мере искажаются.

В описываемой установке этот недостаток устраняет автоматический регулятор интенсивности монохроматического светового потока [2], принцип работы которого заключается в следующем: малая доля выходящего из монохроматора света (рис. 1), отражаясь от стеклянной пластинки, направляется на контрольный ФЭУ. Усиленный сигнал ФЭУ сравнивается с опорным сигналом, вырабатываемым программным устройством. В случае разбаланса реверсивный электродвигатель перемещает оптический клин до совпадения сигнала ФЭУ с опорным сигналом. Таким образом обеспечивается постоянство числа возбуждающих квантов при любой длине волны, что гарантирует достоверность результатов и исключает необходимость в пересчете спектров.

Фотопроводимость исследуемого образца измеряется электрометром в линейном или логарифмическом масштабе описанным выше способом и регистрируется на двухкоординатном самописце по оси y . Развертка спектра производится по оси x . Для этой цели сканирующее устройство, вращая призму монохроматора, перемещает одновременно и движок 20-оборотного прецизионного потенциометра. Напряжение, снимаемое с движка потенциометра, преобразуется функциональным преобразователем в напряжение, пропорциональное энергии или длине волны квантов, пропускаемых монохроматором. Этим напряжением и осуществляется развертка спектра на самописце. Нелинейность шкалы энергии в случае применения функционального преобразователя из комплекта НБН-1М и двухкоординатного регистратора типа *Endim-2200/1* не хуже 0,5%.

Установка может быть укомплектована разными типами монохроматоров. Совместно с монохроматором УМ-2 она применялась для измерения спектров в области энергии $1,5 \div 2,7$ эв при масштабе записи 250 мм/эв по оси x и 50 мм на декаду тока по оси y . Полезная площадь диаграммы 375×250 мм. Сканирование спектра может осуществляться как вручную, так и автоматически с выключением или реверсированием на краях ранее установленного спектрального диапазона.

Конструкция самописца позволяет регистрировать на этой же (неподвижной) диаграмме и временные зависимости проводимости с временами развертки от 0,5 до 90 мин на полную ширину диаграммы.

Температурные зависимости обычно регистрируются на двухкоординатном самописце просто по шкале э. д. с. термопары. В [3] для линейаризации шкалы обратной температуры применялся универсальный функциональный преобразователь. Вследствие большого изменения крутизны функции $1/T$ от э. д. с. термопары стабильное электронное моделирование ее затруднено.

В описываемой установке для линейаризации шкалы температуры применяется электромеханический преобразователь. Температура образца измеряется термопарой медь-константан с помощью соответственно приспособленного автоматического самопишущего потенциометра КСП-4, имеющего предел измерения от $-6,6$ до $+4,4$ мВ ($77 \div 375^\circ$ К). Компенсационный спай термопары термостатирован при $+30^\circ$ С. В потенциометр смонтирован дополнительный функциональный реохорд*,

* Реохорд намотан с точностью 0,01% из марганциновой проволоки диаметром 0,15 мм. Периметр подложки пропорционален производной температуры по э. д. с. термопары.

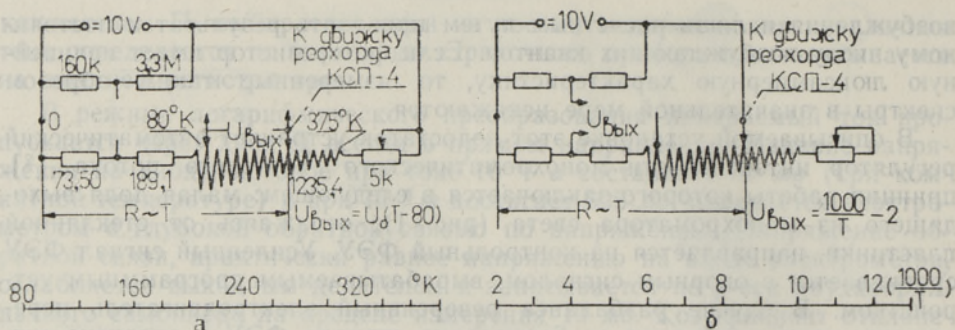


Рис. 3. Электрическая схема функционального преобразователя и градуировка х-оси оконечного регистратора при измерениях по шкале абсолютной (а) и обратной температуры (б).

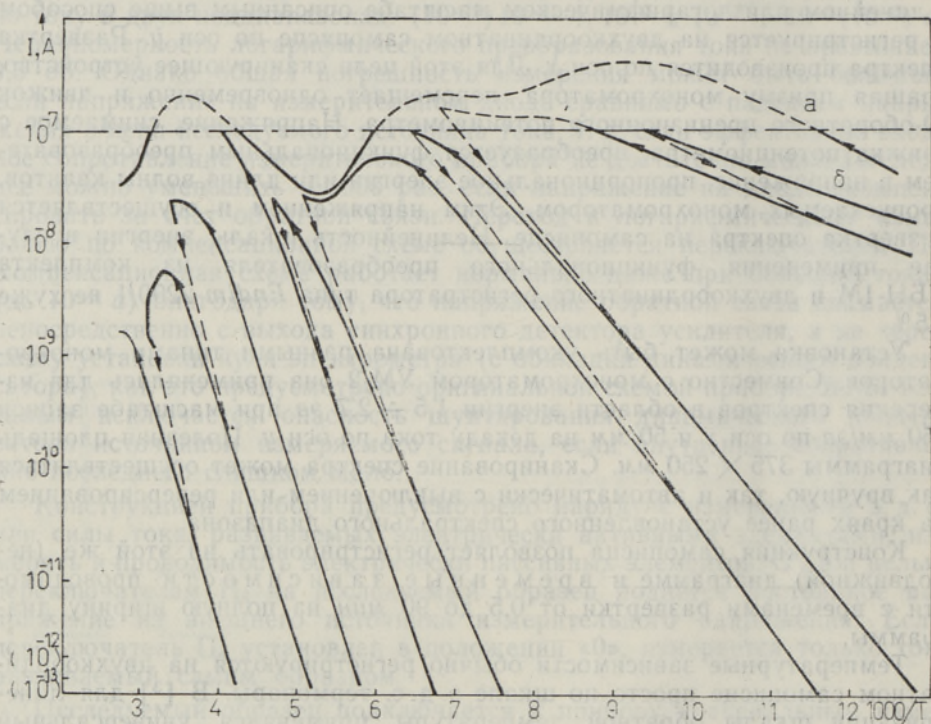


Рис. 4. Пример регистрограммы термостимулированной проводимости.

движок которого механически жестко связан с движком измерительного реохорда. Функциональный реохорд изготовлен с таким расчетом, что при любом показании потенциометра КСП-4 сопротивление от движка функционального реохорда до нулевой точки схемы (рис. 3) пропорционально абсолютной температуре образца. В зависимости от включения схемы выходное напряжение пропорционально (с точностью до постоянной) абсолютной температуре или обратной температуре в диапазонах соответственно $77 \div 375^\circ \text{K}$ (от -196 до $+102^\circ \text{C}$) и $2,61 \div 12,5$ единиц $1000/T$. Погрешность регистрации по шкале температур менее 1 градуса.

В качестве иллюстрации на рис. 4 приведена запись термостимулированной проводимости монокристалла сульфида кадмия в режиме непрерывного нагрева (а) и нагрева с промежуточными охлаждениями (б). На регистрограмме отчетливо видны участки экспоненциального роста проводимости образца, соответствующие разным энергиям термической активации процесса (разным глубинам залегания центров завтата носителей заряда).

Описанный способ регистрации значительно упрощает обработку результатов. Уже в ходе самого эксперимента можно определить некоторые важные физические параметры образца, что позволяет целесообразнее управлять дальнейшим ходом эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tsholl E., Philips' res., repts, No. 6, 28 (1968).
2. Герст А., Одрате И., Тр. ИФА АН ЭССР, № 41, 213 (1972).
3. Gobrecht H., Hofmann D., J. phys. and chem. solids, 27, 509 (1966).

*Институт физики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
17/IX 1973

A. GERST, Elena ASARI

AUTOMAATSEADE KÕRGOOMILISTE POOLJUHTIDE ELEKTRIJUHTIVUSE TEMPERATUURILISE JA SPEKTRAALSE SÕLTUVUSE MÕOTMISEKS

Kirjeldatakse seadet, mis võimaldab automaatselt mõõta ja kahekoordinaadilisel isekirjutajal registreerida pooljuhi elektrijuhtivuse sõltuvust ajast, ergastava valguse kvantide energiast või lainepikkusest ja katsekeha temperatuurist või selle pöördväärtusest. Elektromeetri B2-5 baasil on ehitatud logaritmiline elektromeeter mõõtepiirkondadega $10^{-11} \div 10^{-7}$ ja $10^{-7} \div 10^{-3}$ A.

A. GERST, Elena ASARI

AUTOMATIC DEVICE FOR MEASURING SPECTRAL AND THERMAL DEPENDENCES OF CONDUCTIVITY IN HIGH-RESISTIVE SEMICONDUCTORS

This paper describes a device for automatic measuring and continuous plotting of (photo)conductivity as a function of time, exciting light wavelength or quanta energy, and sample temperature or reverse temperature. For conductivity measurements a logarithmic electrometer with ranges of $10^{-11} \div 10^{-7}$ and $10^{-7} \div 10^{-3}$ A has been constructed.