

Б. И. БОРДЕ, А. С. ГУРЬЕВИЧ, В. И. КРАСНИКОВ,  
В. Г. РОМАНОВ, В. Г. ЧЕРЕПАНОВ

(Красноярск)

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТЕРМОЭДС В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИНЕРАЛАХ

Изучение термоэлектрических свойств рудных минералов (пирита, арсенопирита, магнетита, халькопирита, галенита и др.) в пределах отдельных рудных тел и месторождений в целом позволило установить определенную направленность в их изменчивости [1, 2]. Это явилось основой для расчета таких параметров, необходимых для оценки, разведки и эксплуатации месторождений, как уровень эрозионного среза, нижняя граница и размах продуктивного оруденения.

Одним из перспективных направлений исследований такого рода является изучение распределения термоэдс в пределах одного монокристалла. Эти исследования проводятся на образцах минералов, выполненных в виде аншлифов, поверхность которых готравлена для выявления зон роста монокристаллов. Направленная изменчивость свойств, в том числе термоэдс, в пределах монокристаллов в зависимости от условий рудообразования допускает использование статистических характеристик распределения для оценки вышеупомянутых параметров рудопроявления.

Эти предпосылки стимулировали создание системы, которая в отличие от [3] автоматически регистрирует распределение термоэдс вдоль визуально намеченного направления на поверхности аншлифа. В связи со значительной трудоемкостью ручной обработки этих зависимостей для получения статистических характеристик в состав системы включена микро-ЭВМ типа 15ВСМ-5. По аналогии с ранее принятыми статистическими оценками и для возможности сопоставления получаемых на монокристаллах результатов измерения с данными измерения термоэдс зондовым методом в штуфах, минеральных агрегатах и отдельных зернах с помощью ЭВМ определяется относительное распространение в минерале электронной  $D_n$  и дырочной  $D_p$  проводимости, среднее значение термоэдс для дырочной проводимости  $\langle E_p \rangle$ , среднее значение термоэдс для электронной проводимости  $\langle E_n \rangle$  и общее среднее значение проводимости  $\langle E \rangle$ . По мере освоения методики исследования распределений термоэдс в монокристаллах будут использоваться более сложные статистические оценки, которые без ЭВМ не могли быть получены.

Наряду с измерением термоэдс предусмотрена возможность одномерного измерения размеров полупроводниковых минеральных включений, пересекаемых движущимися электродами. Разрешающая способность по этому параметру составляет 0,1 мм. При этом ЭВМ определяет и выдает закон распределения кристаллов в аншлифе по геометрическим параметрам, что дает дополнительную минералогическую информацию.

В описываемой системе измерительный датчик представляет собой два механически спаренных электрода — горячий и холодный. Датчик снабжен электромеханическим приводом для равномерного прямолинейного движения относительно минерала и ручным — для поперечного перемещения. Electroды выполнены из вольфрамовой проволоки, причем горячий получен путем сварки двух проволок в виде буквы «V» и

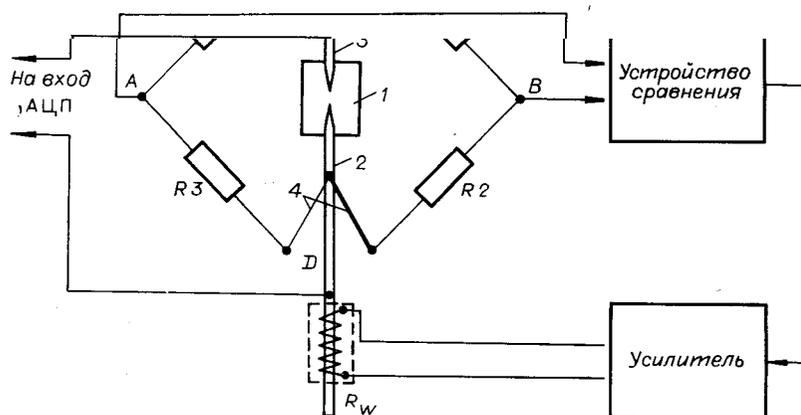


Рис. 1.

разогревается при протекании по нему тока. Между электродами поддерживается разность температур  $45^{\circ}\text{C}$ . Образец крепится на поворотном столе. Вместе с датчиком на подвижной части установлен микроскоп, наблюдение через который за поверхностью аншлафа облегчает сопоставление с распределением термоэдс.

На рис. 1 представлена блок-схема датчика для измерения термоэдс, во включениях полупроводниковых минералов с автоматическим поддержанием заданной разности температур между холодным и горячим электродами. На образец минерала 1 установлены горячий 2 и холодный 3 электроды. На расстоянии 5 мм от заточенных концов электродов приварены термопары 4, 5, которые включены в плечи уравновешенного моста, образованного четырьмя резисторами  $R1 \div R4$ . Мост предназначен для развязки гальванически связанных цепей измерения термоэдс и измерения разности температур горячего и холодного электродов.

С диагонали моста  $AB$  снимается напряжение, соответствующее разности температур электродов, и поступает на схему сравнения, где сравнивается с установленным напряжением, соответствующим разности температур горячего и холодного электродов  $45^{\circ}\text{C}$ . Разность этих напряжений усиливается усилителем, который через тиристорный усилитель мощности управляет нагревом горячего электрода ( $R_w$ ).

Сигнал, пропорциональный измеряемой термоэдс, с диагонали моста  $CD$  поступает на вход аналого-цифрового преобразователя.

Вычислительная часть системы (рис. 2) содержит микро-ЭВМ типа 15ВСМ-5 с интерфейсом ввода-вывода (ИВВ) I и внешнее устройство II. Связь ЭВМ с внешним устройством (ВУ) осуществляется через шины интерфейса [4], которые подразделяются на шины информационные (для передачи данных и адресов — 8 шин прямой и 8 шин обратной передачи), шины идентификации (4 шины кода режима работы ЭВМ) и шины управления (3 шины для подтверждения наличия информации на информационных шинах). Обмен информацией между ЭВМ и ВУ осуществляется байтами.

Внешнее устройство включает аналого-цифровой преобразователь (АЦП), устройство нормализации отсчета (УНО), мультиплексор пе-

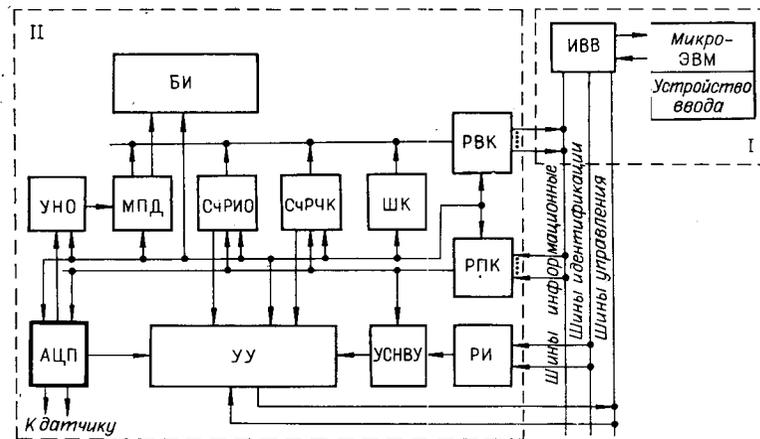


Рис. 2.

передачи данных (МПД), счетчик и регистр интервала отсчета (СчРИО), счетчик и регистр числа каналов (СчРЧК), шифратор команд (ШК), устройство сравнения номера внешнего устройства (УСНВУ), регистры приема (РПК) и выдачи (РВК) кода, регистр идентификации (РИ), устройство управления (УУ) и блок индикации (БИ) [5].

Аналого-цифровой преобразователь построен по схеме компенсационного интегрирования [6] с автоматической коррекцией дрейфа нулевого уровня и программно-управляемым коэффициентом передачи входного усилителя. С целью подавления помех общего вида аналоговая часть ВУ гальванически развязана от цифровой части, а подавление помех нормального вида обеспечивается временем интегрирования входного сигнала, кратным частоте сети переменного тока (50 Гц). Работает АЦП в двух режимах: кодирование напряжения (первый канал) — для преобразования термоэдс полупроводниковых минералов и кодирование сопротивления (второй канал) — для вычисления геометрии частиц минералов.

Устройство нормализации отсчета производит приведение данных, поступающих от АЦП, к формату ЭВМ.

Мультиплексор передачи данных преобразует информацию из параллельной формы (с регистра нормализации) в параллельно-последовательную и задает ее в ЭВМ или на индикацию.

Счетчик и регистр интервала отсчета предназначены для автоматического задания интервала между отсчетами. Схема определения интервала содержит регистр интервала, мультиплексор, счетчик и схему совпадения кодов. Регистр интервала построен на восьми D-триггерах и используется для хранения кода интервала отсчета, поступающего от ЭВМ в виде двух полубайтов (младший полубайт определяет множитель, т. е. одну из восьми фиксированных частот, старший — множитель). В соответствии с кодом регистра мультиплексор выбирает одну из частот и выдает на вход счетчика. При совпадении кода счетчика и кода регистра вырабатывается короткий (0,5 мкс) импульс, соответствующий окончанию интервала отсчета, который может быть задан в пределах  $10^{-3} \div 10^5$  с.

Счетчик и регистр каналов предназначены для задания и счета числа обработанных каналов за время интервала отсчета. Они состоят из регистра (восемь D-триггеров), счетчика (две декады) и схемы совпадения кодов.

Шифратор команд формирует последовательность команд, поступающих в ЭВМ (команды приема, передачи числа и гуска ЭВМ).

Устройство сравнения номера ВУ производит сравнение номера на шинах интерфейса с собственным номером. В случае совпадения кодов устройство сравнения включает внешнее устройство в работу с ЭВМ. В этом случае функции управления передаются внешнему устройству. Выбор ВУ необходим, так как ЭВМ может работать с группой внешних устройств (до 512).

Регистры приема и выдачи кода служат для кратковременного хранения информации (данных или команд) в режиме приема или передачи. Регистр идентификации хранит код режима ЭВМ.

Устройство управления предназначено для формирования сигналов, управляющих блоками внешнего устройства. УУ включает задающий генератор ( $f=1$  МГц) и регистр управления. В совокупности с устройством задания интервала отсчета и счетчиком числа каналов устройство управления представляет программно-управляемый автомат. Блок индикации используется для контроля работы АЦП и подключается в процессе настройки системы.

Для организации обработки результатов измерения требуются режимы выбора внешнего устройства, обмена данными между ЭВМ и ВУ, обработки данных и вывода результатов.

По команде выбора внешнего устройства код идентификации и код адреса ВУ поступает в устройство сравнения номера ВУ, которое в случае совпадения подключает внешнее устройство к интерфейсу. Внешнее устройство формирует команду приема числа и производит прием служебной информации, необходимой для задания режима работы. ВУ принимает код признака шкалы (для задания шкалы АЦП), код числа каналов и код интервала отсчетов. Для определения погрешности преобразования предусмотрены контрольные режимы (контроль  $+U_{\max}$ ,  $U_0$ ,  $-U_{\max}$ ). После приема контрольных отсчетов ЭВМ вычисляет погрешность преобразования  $\delta$ , сравнивает ее с допуском  $\delta_{\text{доп}}$ , и, если  $\delta < \delta_{\text{доп}}$ , ЭВМ передает в ВУ код номера канала и принимает отсчет по данному каналу, в противном случае выходит на останов. В момент приема кода номера канала запускается АЦП и счетчик интервала отсчетов (пуск  $T$ ). Сигнал конца преобразования АЦП (КП) служит разрешением на занесение отсчета в регистр нормализации. После передачи отсчета в ЭВМ к счетчику каналов добавляется единица ( $\text{СчК} := \text{СчК} + 1$ ) и ЭВМ переходит на обработку отсчета, после чего цикл повторяется.

Если время обработки по  $n$  каналам  $t_n$  не укладывается в интервал отсчетов  $T_n$  (т. е.  $t_n > T_n$ ), устройство управления блокирует ВУ и ЭВМ выходит на останов, так как обработка не имеет смысла. Минимальное время интервала отсчета  $T_n$  определяется временем выполнения алгоритма обработки информации (при работе в реальном масштабе времени) и составляет 50–300 мс для ЭВМ типа 15ВСМ-5. Алгоритм работы ВУ приведен на рис. 3. Здесь СПК — сигнал схемы сравнения кода счетчика числа каналов с кодом регистра, СПИ — сигнал схем сравнения кода счетчика интервала отсчетов с кодом регистра интервала,  $N$  — код номера ВУ на шинах интерфейса,  $N_{\text{ВУ}}$  — код номера ВУ.

Результаты обработки выводятся на цифровую индикацию ЭВМ. Останов осуществляется оператором с пульта ЭВМ или по программе после выполнения заданного числа отсчетов. Выпслнено ВУ в виде отдельного блока в конструктиве ЕС ЭВМ. В качестве элементной базы использованы микросхемы серий К133 и К155.

Система может быть использована в качестве устройства первичной обработки данных, в этом случае вывод промежуточных данных может быть осуществлен на перфоратор в коде ГОСТ 13052-67 или в канал связи для дальнейшей обработки на ЭВМ большей мощности.

Система оперативной обработки данных исследования природных полупроводниковых минералов в реальном масштабе времени реализо-

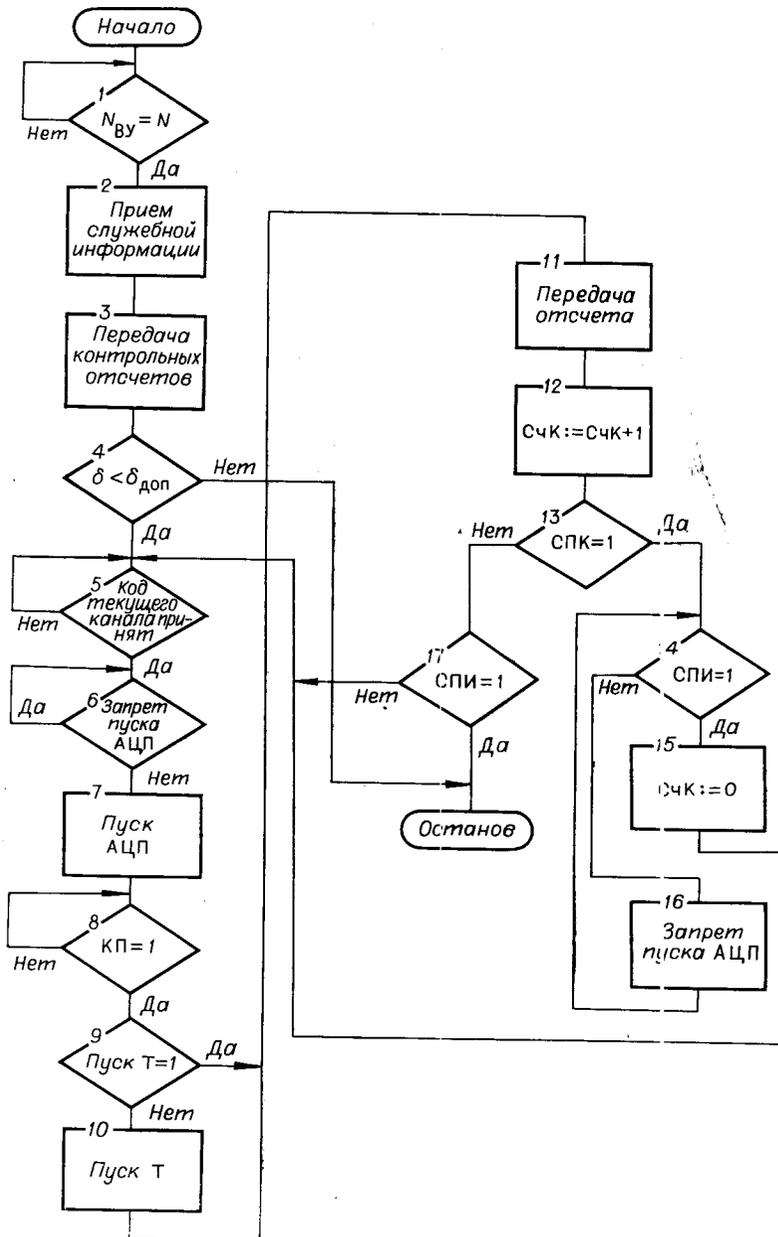


Рис. 3.

вана на микро-ЭВМ типа 15ВСМ-5 («Электроника С-50») [7] и может быть использована для обработки результатов различных физических исследований с информационным потоком через канал ввода-вывода до 200 байт/с с интервалом отсчета не менее 50 мс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатов Г. А. Термоэлектрические свойства пирита и галенита и возможная их связь с температурой минералообразования.— «Труды ВИМС». М., 1957.
2. Князев В. И., Куделя В. К. Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий рудообразования. Киев, «Наукова думка», 1969.

3. Красников В. И., Сычугов С. В., Суматохин В. А., Фаворов В. А. Некоторые результаты исследования зон роста и анизотропии физических свойств монокристаллов пирита.— В кн.: Геология, геохимия и прогнозная оценка рудных районов и месторождений Забайкалья. Иркутск, изд. Иркутского гос. ун-та, 1973, с. 181.
4. Колпаков И. Ф. Электронная аппаратура на линии с ЭВМ в физическом эксперименте. М., Атомиздат, 1973. 232 с.
5. Борде Б. И., Вейсов Е. А., Сысоев А. В., Кривошеев В. А. Устройство регистрации данных эксперимента на перфоленте в коде М2.— В кн.: Тонкие магнитные пленки вычислительной техники. Окончательный вариант — 21 июля 1976 г.

УДК 519.24

Г. И. БЕЛЯЕВ, О. К. РУЖИН, Г. П. СЕМЕНОВ,  
В. Н. ХАРИСОВ  
(Джезказган)

### ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим возможность разработки общего подхода к задаче использования имеющейся априорной информации о реальном объекте, результатов текущих экспериментов и моделирования.

Пусть исследуемая сложная система (реальный объект) описывается оператором  $y = \varphi(x)$ , отображающим вектор входных воздействий  $x$  в исследуемую характеристику  $y$ . Ставится задача оценки математического ожидания характеристики

$$\Theta = E_p \{ \varphi(x) \} = \int_X \varphi(x) p(x) dx, \quad (1)$$

где  $p(x)$  — плотность вероятности вектора  $x$ , заданная на пространстве входных воздействий  $X$ .

Распространенным методом вычисления многомерных интегралов типа (1) является метод статистических испытаний. При этом вычисление интеграла (1) осуществляется по квадратурной формуле

$$\hat{\Theta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi(x_i) \quad (2)$$

( $x_i$  — узлы квадратурной формулы;  $N$  — количество узлов). Назначение  $x_i$  производится в соответствии с заданной плотностью вероятности  $p(x)$ .

Такой подход вполне оправдан, если отсутствуют априорные сведения о функциональном представлении  $\varphi(x)$ . Однако на практике всегда имеется, и довольно значительная, информация о  $\varphi(x)$ , полученная в результате анализа системы в процессе предшествующих натуральных экспериментов. С учетом этого использование формулы (2) для расчета оценок экономически не всегда целесообразно.