

УДК 631+538.9

Ташполотов Ысламидин

д.ф.-м.н., проф., физико-технический факультет,
преподаватель кафедры «Экспериментальной и теоретической физики»
Ошский государственный университет, e-mail: itashpolotov@mail.ru

Ташполотов Ысламидин

ф.-м.и.д., проф., Физика-техника факультети
«Эксперименталдык жана теориялык физика»кафедрасынын окутуучусу
Ош Мамалекеттик Университети

Tashpolotov Yslamidin

doctor of physical and mathematical sciences, professor
Lecturer of the Department of Experimental and Theoretical Physics
Osh State University

Маматов Элбек Умаржанович

инженер-программист, отдел:
информационно-технического обеспечения
Ошский государственный университет
e-mail: mamatov.elbek@list.ru

Маматов Элбек Умаржанович

инженер-программист,
маалыматтык-техникалык камсыздоо бөлүмү
Ош мамлекеттик университети

Mamatov Elbek Umarzhanovich

Software engineer, Department:
Information and technical support.
Osh State University

¹НИИ “Нанотехнологий и искусственного интеллекта” им.Н.Исанова Ошского
государственного университета,

²Институт природных ресурсов им.А.С.Джаманбаева ЮО НАН КР

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БАЗАЛЬТОВОЙ ПОРОДЫ КЫЗЫЛ-КИЙСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Аннотация: Экспериментальные исследования электрофизических свойств базальтовых пород нами проводились в интервале температуры от 20°C до 1000°C в воздушной среде. Для измерения электропроводности базальта, образец изготовили в виде диска толщиной 2-5 мм и диаметром 35 мм. На торцевые поверхности диска наносили электроды, путём напыления в вакууме тонкого слоя металла. Медную металлическую фольгу, круглой формы диаметром 30 мм закрепили к поверхности образца с помощью вазелинового масла в качестве электрода. В ходе проведения экспериментов установили оптимальный размер образца базальта, который оказался равным $V=1.48 \cdot 10^{-4}$ м³. Показано, что увеличение объема исследуемого образца начиная с температуры 300°C и выше приводит его к разрушению. Это связано с началом улетучивания CO₂.

Так как, под действием электрического тока CO_2 концентрируется в середине исследуемого образца и после начала спонтанного их выхода происходит разрушение образца базальта. Установлено, что в интервале температуры от $450^\circ C$ до $850^\circ C$ удельное электрическое сопротивление базальтовых пород изменяется по экспоненциальному закону. Выявлено, что в интервале температуры $t = 300 - 450^\circ C$ улетучивается виде смеси газов SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , Cl_2 , NH_3 , тогда как до температуры $300^\circ C$ основным компонентом летучих элементов является CO_2 . Этот процесс слабо влияет на электропроводность образца из необожжённого базальта. Для обожжённого базальта в интервале температур $t=20-450^\circ C$ удельное его сопротивление принимает постоянное значение, но в интервале температур от $450^\circ C$ до $1000^\circ C$ удельное сопротивление базальта изменяется согласно экспоненциальному закону: $\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E_a/KT)$. Определены значения энергии активации базальта при средних и высоких температурах, которые оказались равными, соответственно $E_1 = 0,112$ эВ и $E_2 = 0,16$ эВ. На основе полученных данных сделан вывод, что электропроводность базальтовых пород обусловлена примесными ионами и электронами и наличием небольшого числа свободных электронов.

Ключевые слова: базальт, температура, удельное сопротивление, энергия активации, летучие газы, электропроводность базальта.

КЫЗЫЛ-КЫЯ КЕНИНИН БАЗАЛЫТ ТЕКТЕРИНИН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫК ПАРАМЕТРЛЕРИ

Аннотация. Базальт тектеринин электрофизикалык касиеттерин эксперименталдык изилдөөлөрдү аба чөйрөсүндө $200^\circ C$ тан $1000^\circ C$ чейин температура аралыгында жүргүзүлдү. базальттын электр өткөрүмдүүлүгүн өлчөө үчүн үлгү калыңдыгы 2-5мм жана диаметри 35мм болгон диск түрүндө жасалган. диаметри 30мм болгон тегерек формадагы жез, металл, фольга, жана электрод катары вазелин майы менен үлгүнүн бетине бекитилген. эксперименттердин жүрүшүндө биз барабар болгон базальт үлгүсүнүн оптималдуу өлчөмүн аныкталды. $\sigma_{300} = 1.48 \cdot 10^{-4}$ мЗ., $300^\circ C$ жана андан жогору температурадан баштап сыноо үлгүсүнүн көлөмүн көбөйтүү анын бузулушуна алып келери далилденген. бул CO_2 волатилизациясынын башталышы менен шартталган. электр тогунун таасири астында CO_2 изилденип жаткан үлгүнүн ортосуна топтолгондуктан жана өзүнөн-өзү чыга баштагандан кийин базальт үлгүсү бузулат. $450^\circ C$ тан $850^\circ C$ ка чейинки температура диапазонунда базальт тектеринин электр каршылыгы экспоненциалдык мыйзам боюнча өзгөрөрү аныкталган.

$t = 300 - 450^{\circ}\text{C}$ температура диапазонунда SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , Cl_2 , NH_3 газдардын аралашмасы түрүндө бууланып, ал эми 300°C температурага чейин учуучу заттардын негизги компоненти экендиги аныкталган. элементтери CO_2 болуп саналат. бул процесс күйгүзүлбөгөн базальт үлгүсүнүн электр өткөрүмдүүлүгүнө аз таасир этет. кальциленген базальт үчүн $t=20-450^{\circ}\text{C}$ температуралык диапазондо анын салыштырма каршылыгы туруктуу маанини алат, бирок 450°C тан 1000°C ге чейинки температура диапазонунда базальттын каршылыгы экспоненциалдык мыйзамга ылайык өзгөрөт: $\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-ea/kt)$. орто жана жогорку температурада базальттын активдештирүү энергиясынын маанилери аныкталды, алар тиешелүүлүгүнө жараша $e_1 = 0,112$ эВ жана $e_2 = 0,16$ эВ болуп чыкты. алынган маалыматтардын негизинде базальт тоо тектеринин электр өткөргүчтүгү иондор менен электрондордун аралашмасынан жана аз сандагы бош электрондордун болушунан келип чыгат деген тыянакка келди.

Негизги сөздөр: базальт, температура, каршылык, активдешүү энергиясы, учуучу газдар, базальттын электр өткөрүмдүүлүгү.

ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF THE BASALT ROCK OF THE KYZYL-KIY DEPOSIT

Abstract: We carried out experimental studies of the electrical properties of basalt rocks in the temperature range from 20°C to 1000°C in air. To measure the electrical conductivity of basalt, a sample was made in the form of a disk 2-5 mm thick and 35 mm in diameter. Electrodes were applied to the end surfaces of the disk by sputtering a thin layer of metal in a vacuum. A round copper metal foil with a diameter of 30 mm was fixed to the surface of the sample using petroleum jelly as an electrode. During the experiments, the optimal size of the basalt sample was established, which turned out to be equal to $V=1.48 \cdot 10^{-4}$ m³. It has been shown that increasing the volume of the test sample starting at a temperature of 300°C and above leads to its destruction. This is due to the beginning of CO_2 volatilization. Since, under the influence of an electric current, CO_2 is concentrated in the middle of the sample under study and after the spontaneous release begins, the destruction of the basalt sample occurs. It has been established that in the temperature range from 450°C to 850°C , the electrical resistivity of basalt rocks changes according to an exponential law. It was revealed that in the temperature range $t = 300 - 450^{\circ}\text{C}$ it evaporates in the form of a mixture of gases SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , Cl_2 , NH_3 , while up to a temperature of 300°C the main component of volatile elements is CO_2 . This process has little effect on the electrical conductivity of the unfired basalt sample. For calcined basalt in the temperature range $t=20-450^{\circ}\text{C}$ its specific resistance takes a constant value, but in the temperature range from 450°C to 1000°C the resistivity of basalt changes according to the exponential law: $\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-Ea/KT)$. The values of the activation energy of basalt at medium and high temperatures were determined, which turned out to be equal, respectively, $E_1 = 0.112$ eV and $E_2 = 0.16$ eV. Based on the data obtained, it was concluded that the electrical conductivity of basaltic rocks is due to impurity ions and electrons and the presence of a small number of free electrons.

Keywords: basalt, temperature, resistivity, activation energy, volatile gases, electrical conductivity of basalt.

Введение

В [1-3] показано, что электрофизические свойства горных пород являются функциями, как его химического состава, так и внешней температуры.

В [4] нами изучено процентное содержание легколетучих элементов, улетучивающихся в процессе пиролиза базальтовой шихты и установлено, что базальтовые породы содержат в себе небольшое количество благородных металлов. (Ag, Au и др.) и полупроводниковых элементов (Sb, Ge и др.).

В работе [5] исследовали температурные зависимости поверхностной электропроводности $\ln\sigma_s=f(1/T)$ кристаллов MgO, облученных ускоренными ионами Fe⁺ с соответствующими дозами – 1014, 1016, 107 см⁻², непосредственно после облучения и последующего вакуумного отжига до 500 К. Установлено, что при малом облучении $D \leq 106 \text{ см}^{-2}$ проводимость образца непосредственно после облучения носит нелинейный характер. Нелинейность [6,7], по-видимому, обусловлено тем, что при нагреве образцов в вакууме протекают релаксационные процессы, приводящие к изменению параметров электропереноса. При измерениях проводимости σ_s образцов после постимплантационного вакуумного отжига зависимость $\ln\sigma_s=f(1/T)$ имеет аррениусовский характер [5]:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E_a / KT)$$

и характеризуется определенной энергией активации (E_a).

В данной статье нами исследовались электрофизические свойства базальтовых пород Кызыл-Кийского месторождения.

Методика исследования

Экспериментальные исследования изменений электрофизических свойств базальтовых пород проводились в интервале температуры от 20°C до 1000°C в воздушной среде. Для измерения электропроводности базальта, образец изготовили в виде диска толщиной 2-5 мм и диаметром 35 мм. На торцевые поверхности диска наносили электроды, путём напыления в вакууме тонкого слоя металла. Медную металлическую фольгу, круглой формы диаметром 30 мм закрепили к поверхности образца с помощью вазелинового масла в качестве электрода. В некоторых случаях к шлифованной поверхности образцов прикрепляли с помощью мягкого карандаша графитовые электроды.

Схема установки для измерения электрофизических свойств базальтовых пород приведена на рис. 1.

Для измерения электрофизических свойств базальтовых пород проводили следующие последовательные операции:

- подготовка образцов и придание им заданной формы и размеров, а также удаление загрязнений путем промывания в спирте;
- нанесение электродов на поверхности образца;
- подготовка приборов к работе и включение по указанной схеме;

- включение печи и нагревание ячейки до 850°C ;
- измерение электрофизических параметров с помощью цифрового вольтметра и микроамперметра;
- последовательное повышение (понижение) температуры с шагом 30° – 50°C (выдержка при каждой температуре составляла 10-15 мин) и запись показаний прибора.

Полученные электрофизические параметры при температурах $t=20$ – 850°C для базальтовых пород Кызыл-Кийского месторождения приведены на рис. 2 и 3.

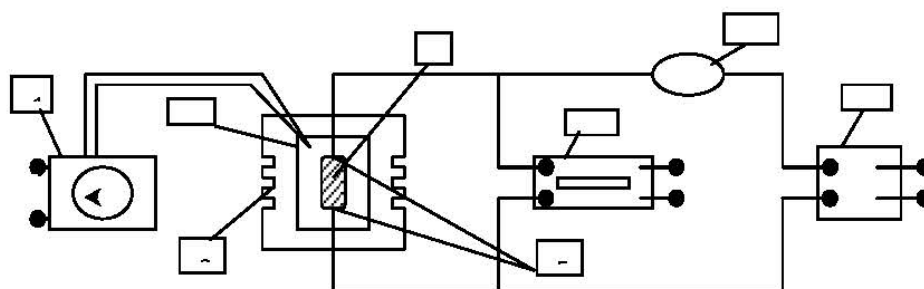


Рис.1. Схема установки для исследования электрофизических свойств базальтовых пород: 1 – КСП-2 с термопарой для измерения температуры; 2 – высокотемпературная силитовая печь; 3- измерительная ячейка; 4 – исследуемый образец; 5 – электроды; 6 – универсальный цифровой вольтметр типа В7-35; 7 – микроамперметр типа М2044; 8 – стабилизатор напряжения постоянного тока П4105.

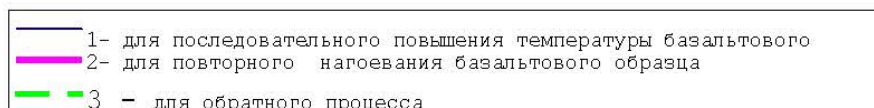
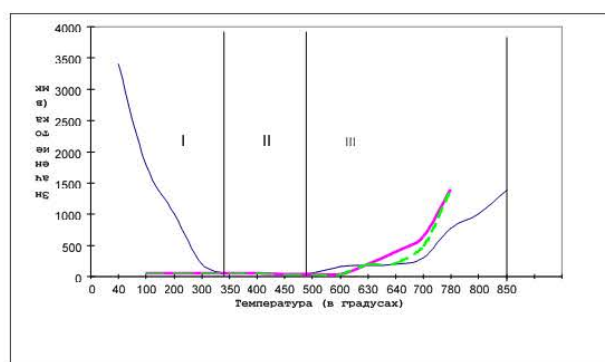


Рис. 2. График зависимости $I=f(t)$ при $U=222\text{В}$

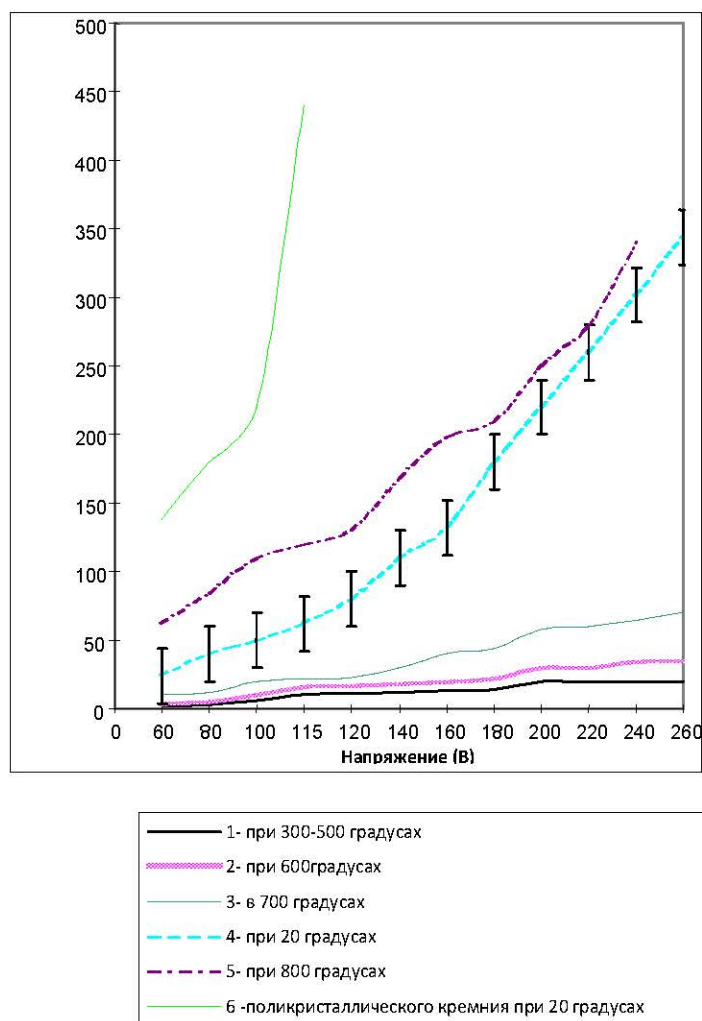


Рис.3. Вольтамперная характеристика базальта для различных температур

Известно, что удельное электрическое сопротивление представляет собой величину, обратно пропорциональную удельной электропроводности, т.е. $\rho_v = 1/\alpha_v$. Удельное электрическое сопротивление базальта равно отношению напряженности постоянного электрического поля V/h по направлению объемного тока J_v в образце к плотности этого тока J_v/S , т.е. $\rho = R_v(S/h)$, где S – площадь поперечного сечения базальтового образца; h – толщина.

Удельное сопротивление базальта $\rho = \rho(T)$ исследовали в интервале температур от 20 до 1000° С. В течение проведения экспериментов установили оптимальный размер образца базальта, который оказался равным $V = 1.48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Установлено, что увеличение объема исследуемого образца начиная с температуры 300° С и выше приводит его к разрушению.

Это связано с началом улетучивания CO_2 . По-видимому, под действием электрического тока CO_2 концентрируется в середине исследуемого образца и после начала спонтанного их выхода происходит разрушение образца базальта. Поэтому измерения $\rho = \rho(T)$ проводились для объема образца $V_{изм} < V_{пред}$.

Из рис. 4 видно, что в интервале температур от $20^\circ C$ до $300^\circ C$ удельная проводимость базальтовых пород изменяется по линейному закону, а в интервале $300^\circ - 450^\circ C$ величины постепенно уменьшается. Далее, при повышении температуры от $450^\circ C$ до $850^\circ C$ удельное электрическое сопротивление базальтовых пород изменяется по экспоненциальному закону. Такое изменение электрического сопротивления базальтовых пород имеет определенный научный интерес. Исследования показывают, что из-за выделения углекислого газа из базальта в виде CO_2 и других легколетучих элементов, удельное сопротивление базальтового образца резко повышается. При выделении CO_2 в процессе пиролиза происходит экзотермические реакции. Этот процесс отрицательно влияет на электропроводность базальта. Из образца базальта в интервале температуры $t = 300 - 450^\circ C$ улетучивается

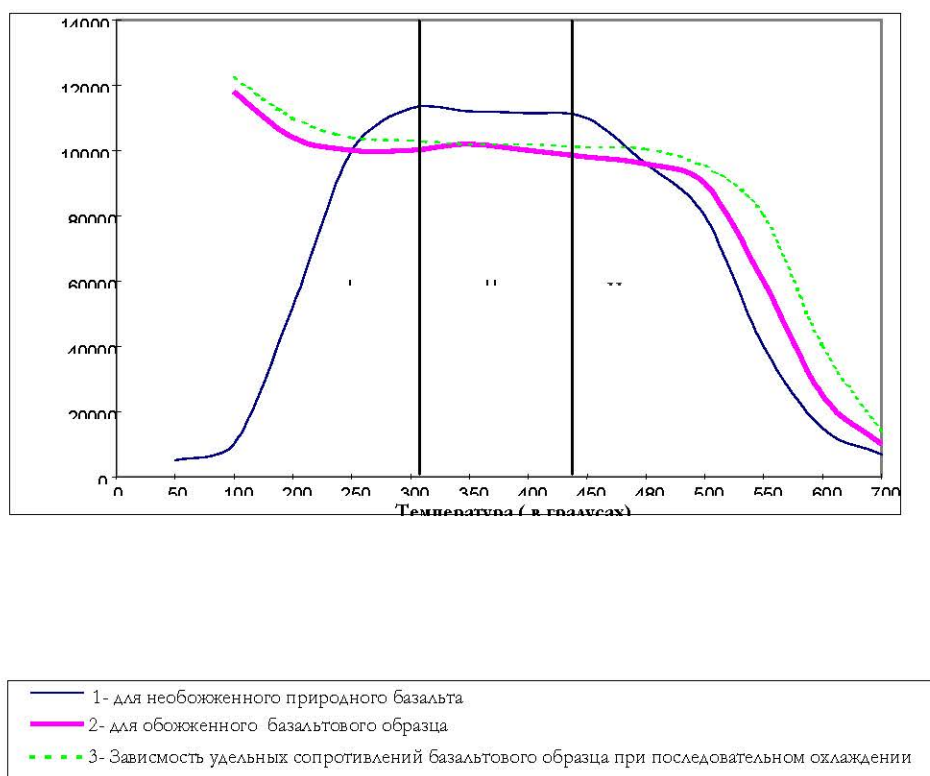


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления базальта от температуры

в виде смеси газов SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , Cl_2 , NH_3 , тогда как до температуры $300^\circ C$ основным компонентом летучих элементов является CO_2 . Этот процесс слабо влияет на электропроводность образца из необожжённого базальта, рис.4 (второй участок).

Для обожжённого базальта в интервале температур $t=20-450^\circ C$ удельное его сопротивление принимает постоянное значение, но в интервале температур от $450^\circ C$ до $1000^\circ C$ удельное сопротивление базальта изменяется согласно экспоненциальному закону:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E/KT).$$

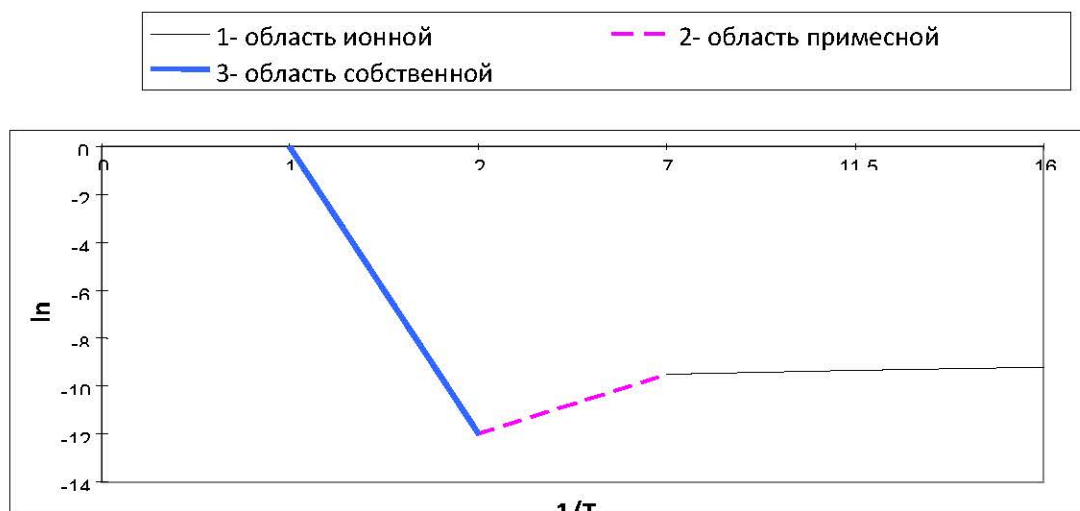
Поэтому нами исследовались вольтамперные характеристики базальта в интервале температур от $20^\circ C$ до $850^\circ C$ (рис.3) и зависимость удельной электропроводности от обратного значения температуры ($1/T$) (рис. 5).

Найденные значения энергии активации базальта при средних и высоких температурах оказались равными, соответственно $E_1 = 0,112$ эВ и $E_2 = 0,16$ эВ.

Из рис. 3 также видно, что вольтамперные характеристики базальта, полученные нами в экспериментах для низких ($t = 20^\circ C$) и высоких ($t = 850^\circ C$) температур идентичны с вольтамперной характеристикой поликристаллического кремния ($t = 20^\circ C$).

Из полученных данных можно сделать вывод, что электропроводность базальтовых пород обусловлена примесными ионами и электронами, и наличием небольшого числа свободных электронов. Ионный характер электропроводности базальта присущ легколетучим элементам (галогидным соединениям, нитратам, сульфатам и т.д.), а электронная проводимость характерна для окислов и сульфатов тяжелых металлов и полупроводниковых элементов [8]. Проведенные нами эксперименты показывают, что в интервале температур от $20^\circ C$ до $450^\circ C$ улетучивается основная масса легколетучих элементов из базальта.

Рис.5. График температурной зависимости электропроводности для базальта:



Поэтому, при повторном нагревании, ионная проводимость базальтовых пород, не имеет места. При температурах $300-450^\circ C$ ионы в решетках мало диссоциированы и поэтому значительное участие в токе принимают в основном примесные ионы. А при высоких температурах роли примесной проводимости незначительны. По этой причине при температурах $300-450^\circ C$ большой разброс в электропроводности, а при более высоких температурах значительно меньшее значение имеет точка перегиба (рис.5).

Отсюда можно сделать вывод, что физические свойства базальтовых пород при высоких температурах близки к электрофизическим свойствам полупроводника.

Наряду с этим, экспериментально измеренные сопротивления базальтового образца показывают, что при температуре 850 °С в процессе повышения температуры и в обратном понижении его температуры значения сопротивления того же образца имеют значения соответственно равными 24 кОм и 130 кОм. Из данного полученного результата можно предположить, что базальтовая порода при определенных температурах обладает также диодными свойствами.

Для создания высоконадежных кремниевых микроволновых диодов наряду с необходимостью высокого совершенства исходного полупроводникового материала, предъявляются также следующие требования[8-10]:

- они должны быть термо- и радиационно-стойкими;
- стабильными в рабочем диапазоне температур;
- существенно низкоомными.

В [10] экспериментально подтверждена модель тесного омического контакта с барьером Шоттки на основе контактных систем кремния с силицидами палладия и титана. В [10] показано, что такие контактные системы устойчивы к термическим отжигам в атмосфере аргона до 400 °С в течение 60 с. Повышение температуры отжига от 600 °С до 800 °С приводит к разрушению слоевой структуры контактов и растрескиванию металлизации в течение 60 с.

Литература

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Ленанд, Серия: Классика инженерной мысли: горное дело. 2019. С. 368.
2. Качугов А.А., Росляков Н.М. Результаты экспериментальных исследований электрических параметров диэлектрического материала, полученного на основе базальтового сырья. В сборнике науч. трудов: Композиционные материалы на основе базальтовых волокон. Киев. ИПМ. 1989. С. 138-143.
3. Порхаменко Э.И., Бондаренко А.Т. Электропроводимость горных пород при высоких давлениях температурах. М.: Наука. 1972. С. 278.
4. Ташполотов Ы., Маматов Э.У. Химический состав базальтовых горных пород Кызыл-Кийского месторождения Кыргызской Республики//Вестник ОшГУ, 2022. №1. Математика, Физика, Техника. С. 81-91.
5. Анненков Ю.М., Пичугин В.Ф., Франгулян Т.С., Столяренко В.Ф. Формирование проводящего состояния и его свойства в кристаллах оксида магния при облучении ускоренными ионами металлов. // Физика и химия обработки материалов. 1999. № 5. С. 5-12.
6. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. 5-е изд. Серия «Синергетика. М.: Либроком. 2012. С. 312.

7. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядочению через флуктуации. – М.: Мир, 1979. С. 512.
8. Шур М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир. 1992. Книга 1. С. 480.
9. Герщинский А.Е., Рыжанов А.В., Черепов Е.И. Тонкопленочные силициды в микроэлектронике. // Микроэлектроника. 1982. Т. II. Вып. 2. С. 83-84.
10. Мьюрарка Ш. Силициды для СБИС. М.: Мир. 1986. С. 176.