



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016144219, 10.11.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.11.2016

Дата регистрации:  
07.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.11.2016

(45) Опубликовано: 07.04.2017 Бюл. № 10

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Токтаревой  
Т.М.

(72) Автор(ы):

**Захвалинский Василий Сергеевич (RU),  
Иванчихин Сергей Валентинович (RU),  
Родригес Веласкес Гуни (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU154974U1, 20.09.2015.  
RU127194U1, 20.04.2013. RU2528130C1,  
10.04.2014. SU1190304A, 07.11.1985.

(54) **Устройство для исследования полупроводников и диэлектриков**

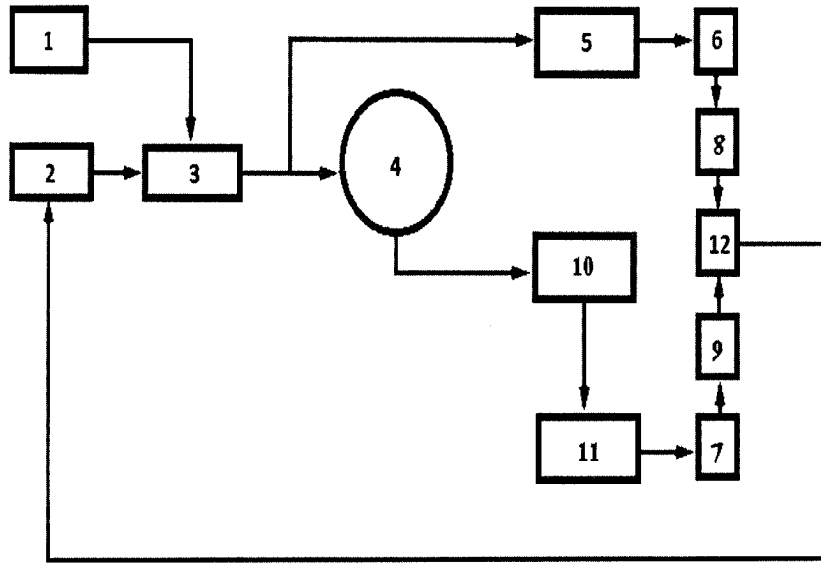
(57) Реферат:

Изобретение относится к электроизмерительной технике. Устройство состоит из генератора импульсов, который генерирует импульсы длительностью 10 мс с частотой от 1 кГц с амплитудой 6 вольт в течение 80% рабочего цикла, источника питания, модулятора, криостата с измерительной ячейкой для размещения исследуемого образца, двух детекторов огибающей импульсов, трансимпедансного усилителя, усилителя для усиления сигналов, поступающих от трансимпедансного усилителя, усилителя напряжения тестирования, двух мультиметров и компьютера, контролирующего величину

напряжения на источнике питания и с помощью программы LabView производящего чтение данных с мультиметров и сохранение полученных данных. Изобретение обеспечивает предотвращение нагрева образцов и изменений в поверхностной структуре границ разделов областей гетеропереходов и контактов при исследовании электрофизических свойств высокоомных и малосигнальных образцов полупроводников, диэлектриков и гетероструктур на их основе, в диапазоне температур от 10 до 350 К, за счет того, что измерения производят импульсами. 3 ил.

**RU 169949 U1**

**RU 169949 U1**



Фиг.1

Полезная модель относится к электроизмерительной технике и может быть использована для исследования полупроводников и диэлектриков с высоким электрическим сопротивлением, тонкоплёночных полупроводниковых материалов и приборных гетероструктур на их основе, путем измерения малых токов и напряжений.

5 Устройства для исследования полупроводников и диэлектриков используются для измерения слабых сигналов тонких плёнок полупроводников и диэлектриков, МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) структур, и МД (металл-диэлектрик) структур. МДП структуры, и тонкие плёнки полупроводников и диэлектриков являются основой цифровых интегральных схем и многих схемных решений современной электроники и  
10 в частности используются в качестве датчиков различных физических параметров [Фрике К. Электроники, Вводный курс цифровой электроники, Москва, Техносфера, 2004, с. 432].

Для измерения вольт-амперных характеристик, статических и других параметров МДП структур и характеристик высокоомных материалов зачастую применяется  
15 дорогостоящее серийное оборудование, например аналоговый прибор Tektronix 370 В [http://www.microwaves101.com/encyclopedia/curvetracer.cfm -Agilent Technologies. Measurement and Analysis. Agilent 4155B Semiconductor Parameter Analyzer. Japan, 2000] или цифровой прибор Agilent 4156 В [Texas Instruments. AN-71 Micropower Circuits Using the LM4250 Programmable Op Amp, Application Report SNOA652B, July 1972, Revised May 2013  
20 ].

Из уровня техники известно устройство для исследования вольтамперных характеристик солнечных элементов и модулей (интернет ссылка <http://lab-centre.ru/mess155.htm>), использующее лабораторный комплекс ELVIS компании National Instruments для автоматической обработки и графического отображения получаемых данных.

25 К недостаткам данного устройства можно отнести узкую направленность устройства и, как следствие, ограниченную область измерений.

Из уровня техники также известно техническое решение по патенту на полезную модель №154974 от 20.09.2015. Автоматизированный измерительный комплекс электрофизических свойств высокоомных материалов содержит измерительную ячейку,  
30 помещенную в термостат, измерительный блок, включающий в себя прецизионные операционные усилители с малыми входными токами и напряжениями смещения и переключатели диапазона измерения; управляющий блок, включающий повышающий трансформатор, управляемый FLYBACK импульсный усилитель, где регулировка напряжения в диапазоне 0-500 В осуществляется изменением скважности; блок  
35 преобразования сигналов, основанный на программно-аппаратном комплексе ELVIS II компании National Instruments, осуществляющий аналого-цифровое преобразование и регулирующий скважность импульсного усилителя, при этом цифровая обработка сигнала осуществляется на ПК с помощью программного обеспечения, написанного на языке LabVIEW, электропитание устройства производится от встроенных в комплекс  
40 ELVIS II источников  $\pm 15$  В.

Недостатком является то, что измерения образцов проводят в масляно-жидкостном термостате, что не позволяет производить измерения при низких и сверхнизких температурах, используемых для исследования полупроводниковых материалов.

45 За прототип выбран «Аппаратно-программный комплекс для автоматизированной регистрации электрофизических характеристик полупроводников» по патенту на полезную модель № 127194 от 20 апреля 2013г, обеспечивающий возможность исследования высокоомных материалов. Комплекс содержит криогенную установку для размещения исследуемого образца полупроводника, персональный компьютер,

связанный с управляющим микроконтроллером через контроллер интерфейса USB, а через преобразователь интерфейса USB с термоконтроллером. Управляющий микроконтроллер соединен с отладочным модулем, содержащим жидкокристаллический дисплей и однокнопочную клавиатуру, и с источником стабильного тока, который в свою очередь подключен к криогенной установке. Гальваническая развязка размещена между микроконтроллером и аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), к которому подключен прецизионный источник опорного напряжения.

Недостатком данной полезной модели является то, что она работает только на постоянном токе, что в конечном итоге ограничивает выбор исследуемых высокоомных объектов исследования за счет того, что в процессе измерения из-за нагрева теплом, выделяемым током носителей заряда, происходят изменения в поверхностной структуре границ разделов областей гетеропереходов и контактов в образцах тонкопленочных полупроводниковых материалов, диэлектриков и гетероструктур.

Задачей предлагаемой полезной модели является расширение арсенала измерительных приборов для исследования электрофизических свойств высокоомных материалов, лишенного недостатков прототипа.

Технический результат – предотвращение нагрева образцов и изменений в поверхностной структуре границ разделов областей гетеропереходов и контактов при исследовании электрофизических свойств высокоомных и малосигнальных образцов полупроводников, диэлектриков и гетероструктур на их основе, в диапазоне температур от 10 до 350 К, за счет того, что измерения производят импульсами.

Задача решается путем предложенного устройства, включающего криогенную установку для размещения исследуемого образца, персональный компьютер с программным обеспечением, позволяющим управлять проведением эксперимента, источник стабильного тока для пропускания тока через образец в которое внесены следующие новые признаки:

- источник стабильного тока соединен с образцом, размещенным в криогенной установке, через модулятор с полевым транзистором, на сток которого подают напряжение и в котором инвертируются и увеличиваются на 10 В импульсы, поступающие на затвор транзистора с генератора импульсов, а исток транзистора модулятора соединён с исследуемым образцом;
- исследуемый образец через трансимпедансный усилитель, усилитель и первый детектор огибающей импульсов соединен с первым мультиметром,
- кроме того модулятор соединен со вторым мультиметром через усилитель напряжения тестирования и второй детектор огибающей импульсов,
- оба мультиметра через USB соединены с компьютером, который с помощью программы LabView производит чтение данных с мультиметров и сохранение данных в формате XLS, а также управляет проведением эксперимента путем контроля величины напряжения на источнике стабильного тока.

Сущность полезной модели поясняется следующими изображениями:

На фиг. 1 – представлена блок-схема предлагаемого устройства.

На фиг. 2 - представлены вольт-амперные зависимости серийного диода Шоттки В 130 при температуре 300 К.

На фиг. 3 - представлены вольт-амперные зависимости гетероструктуры Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag при температуре 100 К.

Устройство состоит из генератора 1 импульсов, который посредством микросхемы SE555/NE555 генерирует импульсы длительностью 10 мкс с частотой от 1 кГц с амплитудой 6 вольт в течение 80% рабочего цикла: 80 микросекунд ON, 20 микросекунд OFF,

источника 2 питания, модулятора 3, содержащего полевой транзистор (на фигуре не показан), который напряжение от источника 2 преобразует из постоянного в импульсное, при помощи импульсов генерируемых генератором 1, которые входят на затвор металл-оксид-полупроводник полевого транзистора, инвертируются и увеличиваются на 10 В, криостата 4 с измерительной ячейкой для размещения исследуемого образца, усилителя 5 напряжения тестирования, усиливающего сигналы, поступающие с модулятора 3, двух детекторов 6 и 7 огибающей импульсов для получения постоянных сигналов, подаваемых с детектора 6 на мультиметр 8 и с детектора 7 на мультиметр 9, трансимпедансного усилителя 10, который превращает ток, полученный с измеряемого образца, в напряжение и усиливает его, усилителя 11 для усиления сигналов, поступающих от трансимпедансного усилителя 10, компьютера 12, контролирующего величину напряжения на источнике 2 питания и с помощью программы LabView производящего чтение данных с мультиметров 8 и 9 и сохранение полученных данных в формате XLS.

Предлагаемое устройство позволяет производить измерения в диапазоне: тока 0,1  $\mu\text{A}$  - 1 мА , напряжения 0,02 В – 2,20 В.

Пример работы заявленного устройства.

Измерительную ячейку с исследуемым образцом размещают в криостате 4, для измерения вольт-амперных характеристик образца устанавливают температуру в криостате в диапазоне от 10 до 350 К либо устанавливают и контролируют скорость изменения температуры град/с. в диапазоне от 10 до 350 К для измерения температурной зависимости электропроводности и магнитосопротивления образца. Генератор 1 генерирует импульсы от 1000 Гц с амплитудой 6 вольт в течение 80% рабочего цикла: 80 микросекунд ON, 20 микросекунд OFF. Импульсы длительностью 10  $\mu\text{s}$  усиливают с помощью модулятора 3, работающего следующим образом: импульсы с генератора 1 входят на затвор металл-оксид-полупроводник полевого транзистора. Уровень напряжения 9 В на затворе полевого транзистора позволяет достигать насыщенности канала транзистора при напряжениях значительно выше, чем значение напряжения, необходимое для тестирования. На сток полевого транзистора модулятора 3 с блока 2 подают напряжение. В качестве блока 2, может быть использован, например, серийный источник питания Актаком АТН-1533 (0-30 В, 3А), соединённый с компьютером 12 через USB порт. Исток полевого транзистора модулятора 3 соединён с мультиметром 8 через усилитель 5 напряжения тестирования и далее - детектор 6 огибающей импульсов, а также с мультиметром 9 через образец для измерения, расположенный в криостате 4, трансимпедансный усилитель 10, который превращает ток в напряжение и усиливает его, усилитель 11 для усиления сигналов, поступающих от трансимпедансного усилителя 10 и детектор 7 огибающей импульсов. Сравнение сигналов, измеренных мультиметрами 8 и 9, производит компьютер 12 с помощью программного обеспечения LabView, которое кроме сохранения данных в формате XLS производит регулировку напряжения источника 2 питания.

Пример № 1.

С помощью предлагаемого устройства было проведено исследование вольт-амперной характеристики серийного диода Шоттки В 130 при температуре 300 К. Изменение тока прямой ветви вольт-амперной характеристики происходит в диапазоне 10  $\mu\text{A}$  - 1 мА на интервале напряжений от 0 до 0.5 В. (Фиг.2)

Пример №2

С помощью предлагаемого устройства было проведено исследование вольт-амперной характеристики гетероструктуры Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag при температуре 100 К:

- измерение тока в диапазоне 20  $\mu\text{A}$  – 0.6 мА
- измерение напряжения в диапазоне 0.02 В - 2.5 В. (Фиг.3)

Сравнивая с прототипом можно отметить, что при равных величинах токов и напряжений измерение в импульсном режиме позволяет расширить диапазон измерений приблизительно на 15%, что дает возможность исследовать более высокоомные материалы и гетероструктуры.

Дополнительным преимуществом является то, что устройство может быть изготовлено с использованием достаточно дешёвых и доступных отечественных приборов, таких как мультиметры АВМ-4551, управляемый источник питания АТН-1533 фирмы АКТАКОМ, а также микросхема SE555/NE555 под названием "Интегральный таймер".

Таким образом, возможность реализации заявленного устройства для исследования полупроводников и диэлектриков можно считать доказанной.

#### 15 (57) Формула полезной модели

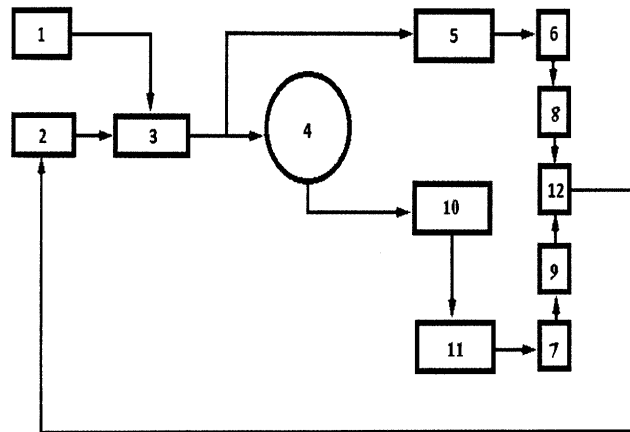
Устройство для исследования полупроводников и диэлектриков с высоким электрическим сопротивлением, включающее криогенную установку для размещения исследуемого образца, персональный компьютер с программным обеспечением, позволяющим управлять проведением эксперимента, источник стабильного тока для пропускания тока через образец, отличающееся тем, что источник стабильного тока соединен с образцом, размещенным в криогенной установке, через модулятор с полевым транзистором, на сток которого подают напряжение, контролируемое программой LabView, и в котором инвертируются и увеличиваются на 10 В импульсы, поступающие на затвор транзистора с генератора импульсов, а исток транзистора модулятора соединён с образцом для измерения, который через трансимпедансный усилитель, усилитель и первый детектор огибающей импульсов соединен с первым мультиметром; кроме того, модулятор соединен со вторым мультиметром через усилитель напряжения тестирования и второй детектор огибающей импульсов; при этом оба мультиметра соединены с компьютером, который с помощью программы LabView производит чтение данных с мультиметров и сохранение данных в формате XLS, а также управляет величиной напряжения на источнике тока.

35

40

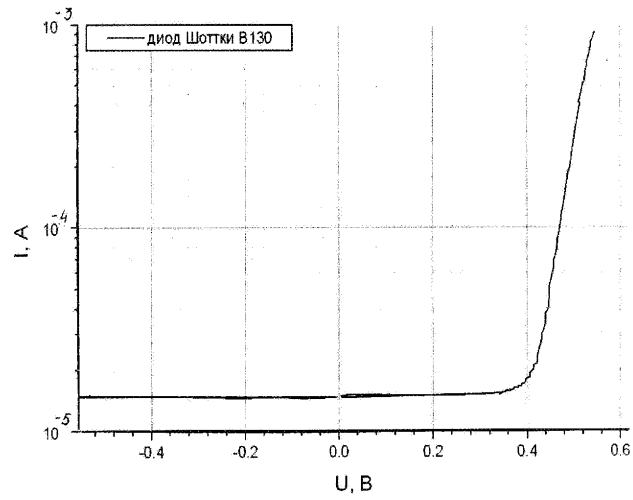
45

Устройство для исследования  
полупроводников и диэлектриков



Фиг. 1

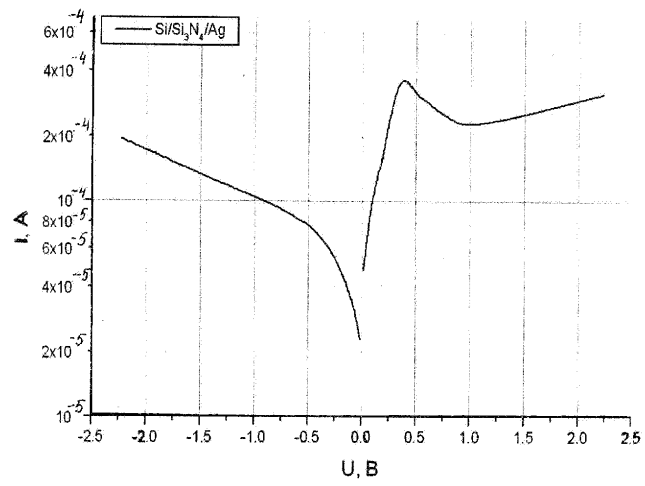
Устройство для исследования  
полупроводников и диэлектриков



Фиг.2



Устройство для исследования  
полупроводников и диэлектриков



Фиг.3