

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2450258

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Северо-Западный государственный заочный технический университет" (ФГБОУ ВПО "СЗТУ") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011100931

Приоритет изобретения 12 января 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 мая 2012 г.

Срок действия патента истекает 12 января 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011100931/28, 12.01.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.01.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.01.2011

(45) Опубликовано: 10.05.2012 Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Курбатов Л.Н. и др. Интерференционный метод измерения времени жизни носителей в полупроводниках. - УФЖ, 1985, т.30, №6, с.920-924. SU 1778821 A1, 30.11.1992. SU 1737261 A1, 30.05.1992. RU 2330300 C2, 27.07.2008. RU 2006987 C1, 30.01.1994. RU 2117956 C1, 20.08.1998. JP 10229109 A, 25.08.1998. WO 2001061745 A, 23.08.2001. JP 8335618 A, 17.12.1996. US 5438276 A, 01.08.1995.

Адрес для переписки:

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5,
ФГБОУ ВПО "СЗТУ", проректору по
развитию и инновациям В.А. Кнышу

(72) Автор(ы):

**Федорцов Александр Борисович (RU),
Иванов Алексей Сергеевич (RU),
Чуркин Юрий Валентинович (RU),
Манухов Василий Владимирович (RU),
Аникеичев Александр Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

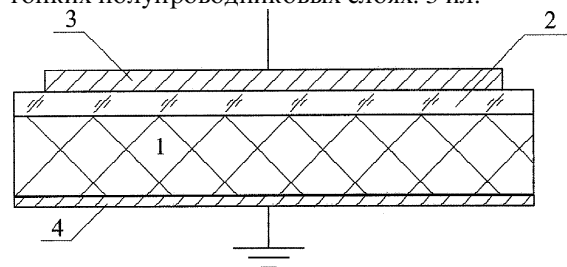
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Северо-
Западный государственный заочный
технический университет" (ФГБОУ ВПО
"СЗТУ") (RU)**

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

(57) Реферат:

Использование: для измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Сущность: заключается в том, что осуществляют зондирование исследуемого образца излучением с энергией фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны, модуляцию концентрации неравновесных носителей заряда в полупроводнике, измерение параметров зондирующего излучения, пропущенного через образец или отраженного им, определение времени жизни неравновесных носителей заряда по измеренным параметрам зондирующего излучения, при этом исследуемый образец выполнен в виде структуры металл - диэлектрик -

полупроводник, причем концентрацию неравновесных носителей заряда модулируют подачей напряжения между металлическим и полупроводниковым слоями данной структуры. Технический результат: обеспечение возможности измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в тонких полупроводниковых слоях. 3 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011100931/28, 12.01.2011

(24) Effective date for property rights:
12.01.2011

Priority:

(22) Date of filing: 12.01.2011

(45) Date of publication: 10.05.2012 Bull. 13

Mail address:

191186, Sankt-Peterburg, ul. Millionnaja, 5,
FGBOU VPO "SZTU", prorektoru po razvitiju i
innovatsijam V.A. Knysju

(72) Inventor(s):

**Fedortsov Aleksandr Borisovich (RU),
Ivanov Aleksej Sergeevich (RU),
Churkin Jurij Valentinovich (RU),
Manukhov Vasilij Vladimirovich (RU),
Anikeichev Aleksandr Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Severo-Zapadnyj
gosudarstvennyj zaochnyj tekhnicheskij
universitet" (FGBOU VPO "SZTU") (RU)**

(54) **METHOD FOR MEASUREMENT OF LIFE SPAN OF NONEQUILIBRIUM CARRIERS IN SEMI-CONDUCTORS**

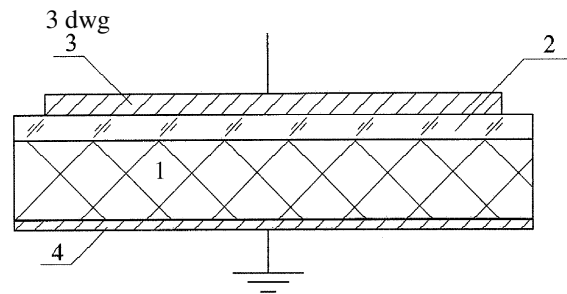
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: sounding of test specimen is performed with emission of photon energy less than width of forbidden gap; modulation of non-equilibrium carriers' concentration in semi-conductor is made and parameters of sounding emission passed through test specimen and reflected back are measured; life span of non-equilibrium charge carriers is calculated by measured parameters of sounding emission. Test specimen is made as structure of metal, dielectric and semi-conductor, at that concentration of non-equilibrium carriers' concentration is modulated by voltage supply

between metal and semi-conducting layer of this structure.

EFFECT: possibility of life span measurement for non-equilibrium carriers in thin semi-conducting layers.



Фиг.1

RU 2 4 5 0 2 5 8 C 1

RU 2 4 5 0 2 5 8 C 1

Изобретение относится к полупроводниковой технике и может быть использовано для определения параметров полупроводниковых материалов, а именно для определения времени жизни неравновесных носителей заряда.

Предлагаемое изобретение может быть использовано при исследовании как полупроводниковых материалов, так и полупроводниковых приборов, создаваемых на их основе. В частности, целесообразно применять данное изобретение в тех случаях, когда возможно изготовить на основе исследуемого полупроводника МДП-структуру и контакты к ней, а также в процессе производства полупроводниковых приборов, в состав которых входят уже изготовленные МДП-структуры.

Известны способы определения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках, основанные на зондировании полупроводника длинноволновым инфракрасным излучением (с энергией фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны полупроводника), при его одновременном облучении коротковолновым светом (с энергией фотонов, большей ширины запрещенной зоны полупроводника) [1, 2, 3, 4].

Наиболее близким по технической сущности к заявленному изобретению и выбранным в качестве прототипа является метод измерения времени жизни носителей заряда в полупроводниках [2]. Этот способ заключается в пропускании через полупроводниковый образец зондирующего излучения с энергией фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны исследуемого полупроводника. При этом концентрация неравновесных носителей заряда модулируется освещением светом оптического инжектора с энергией фотонов, большей ширины запрещенной зоны полупроводника. Зондирующее излучение, прошедшее через полупроводниковый образец, или отраженное им, регистрируется и по его параметрам расчетным путем определяют искомую величину времени жизни. Однако вышеописанный метод измерений имеет недостатки. Этот метод не позволяет определять время жизни неравновесных носителей заряда при высоких уровнях инжекции - выше 10^{18} см^{-3} [5]. Вместе с тем, существует необходимость измерения времени жизни при высоких уровнях инжекции, вплоть до 10^{20} см^{-3} , для оценки работы некоторых приборов, например мощных тиристоров, а также в научных исследованиях. Для создания в полупроводнике высоких концентраций носителей вплоть до 10^{20} см^{-3} необходимо использовать инжектирующее излучение очень большой оптической мощности (более 10 Вт). При этом высокие концентрации свободных носителей заряда создаются в слое полупроводника толщиной, равной диффузионной длине (обычно это несколько микрон). Так как величина поглощения зондирующего луча определяется произведением коэффициента поглощения на толщину поглощающего слоя, а коэффициент поглощения пропорционален концентрации носителей заряда, то это приводит к высокому уровню поглощения в нем зондирующего луча и, по сути, к невозможности использования интерференционного метода [5]. В современной электронной промышленности большое значение имеет измерение параметров реальных полупроводниковых структур, например интегральных микросхем. Интерес представляет измерение времени жизни носителей заряда не только в полупроводниковых материалах, но и в готовых полупроводниковых приборах. А в прототипе и в аналогичных изобретениях [1, 3, 4] измерения времени жизни неравновесных носителей заряда полупроводника производят только в полупроводниковых материалах, из которых изготавливают измерительные образцы в виде плоскопараллельных полированных пластин. Также современные полупроводниковые приборы очень часто являются тонкопленочными структурами с несколькими слоями из полупроводников, различающихся по свойствам. Для таких

приборов также важно знать параметры материалов, из которых они изготовлены, для случая, когда полупроводниковый слой имеет небольшую толщину. В связи с этим представляет интерес измерение времени жизни неравновесных носителей заряда в тонких полупроводниковых слоях.

5 Цель изобретения - расширение области применения прототипа за счет возможности измерения времени жизни неравновесных носителей заряда при их высоких концентрациях, а также за счет возможности измерения времени жизни неравновесных носителей заряда не только в полупроводниковых материалах, но и в
10 готовых полупроводниковых структурах, и обеспечение возможности измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в тонких полупроводниковых слоях.

Сущность изобретения: создание неравновесных носителей заряда в приповерхностном слое полупроводникового материала с помощью поперечного электрического поля в структуре металл - диэлектрик - полупроводник (МДП)
15 МДП-структуры инфракрасным лазерным излучением (оптическим зондом). Измерение коэффициента модуляции пропущенного через полупроводниковый образец с МДП-структурой (или отраженного им) инфракрасного лазерного
20 излучения, по параметрам которого рассчитывается время жизни неравновесных носителей заряда.

В предлагаемом изобретении определение времени жизни неравновесных носителей заряда происходит за счет измерения интенсивности пропускаемого через МДП-структуру (фиг.1), изготовленную на основе исследуемого полупроводникового
25 материала (или отраженного ею) зондирующего инфракрасного лазерного излучения.

На фиг.1: 1 - полупроводник, 2 - слой диэлектрика, 3 - слой металла, 4 - электрический контакт.

Энергия фотонов этого излучения меньше ширины запрещенной зоны
30 полупроводника. При подаче напряжения на слой металла 3 МДП-структуры в области полупроводника 1, граничащей с диэлектриком 2, образуются избыточные носители заряда. Они локализуются в тонком слое, порядка 100 нм, и их концентрация может легко достигать значения 10^{20} см⁻³ [6]. Эти носители меняют показатели
35 преломления и поглощения полупроводника, что приводит к изменению пропускания МДП-структуры. Поглощение зондирующего излучения избыточными носителями будет не очень большим вследствие небольшой толщины слоя их локализации, что делает возможным наблюдение интерференции в МДП-структуре и проведение измерений. При отключении напряжения на МДП-структуре носители заряда
40 становятся неравновесными и начинают рекомбинировать. Темп их рекомбинации определяется временем жизни. При этом начинает меняться и интенсивность излучения оптического зонда, прошедшего через образец (или отраженного им), по спаду которой можно определить время жизни неравновесных носителей заряда.

45 Интенсивность зондирующего излучения пропорциональна изменению пропускания, которое можно представить в виде выражения через концентрацию неравновесных носителей заряда [5]:

$$\Delta T = T'_\nu \cdot l \sigma \Delta N + T'_\delta \cdot l \frac{e^2 \lambda_z \cos \phi_z \Delta N}{2\pi \epsilon_0 n c^2 m^*}$$

50 где ΔT - изменение пропускания образцом излучения оптического зонда;

T'_ν - производная пропускания плоскопараллельным образцом зондирующего излучения по ν (ν - характеристика поглощения);

$$v = \exp(-\alpha_z l);$$

α_z - коэффициент поглощения зондирующего излучения;

l - толщина образца;

T'_δ - производная пропускания плоскопараллельным образцом зондирующего излучения по δ (δ - фазовый угол этого излучения в образце);

$$\delta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_z} \cdot 2n_1 \cdot \cos \varphi_2;$$

n - показатель преломления полупроводника;

λ_z - длина волны оптического зонда;

φ_2 - угол преломления этого зондирующего излучения в образце;

σ - общее сечение поглощения зондирующего излучения электронами и дырками;

ΔN - концентрация неравновесных носителей заряда;

e - заряд электрона;

ϵ_0 - электрическая постоянная;

c - скорость света;

m^* - эффективная масса носителей заряда.

Концентрация неравновесных носителей заряда связана с их временем жизни:

$$\Delta N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где N_0 - концентрация носителей заряда в момент отключения напряжения на МДП-структуре; τ - время жизни неравновесных носителей заряда; t - текущее время.

Интенсивность зондирующего излучения зависит от концентрации носителей заряда и спадает по аналогичному закону с законом спада концентрации неравновесных носителей заряда. Отсюда следует, что интенсивность зондирующего излучения спадает со временем по закону:

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где I_0 - интенсивность излучения оптического зонда в момент отключения напряжения на МДП-структуре.

Таким образом, по спаду интенсивности излучения оптического зонда, пропущенного через МДП-структуру (или отраженного ей), можно определить время жизни неравновесных носителей заряда.

В установке, схема которой изображена на фиг.2, свет оптического зонда пропускается через образец. На исследуемый образец 6 (МДП-структура) с генератора 10 подается электрический сигнал так, чтобы создать слой на поверхности полупроводника, обогащенный носителями заряда. Свет лазера 5, прошедший через исследуемый образец, регистрируется с помощью фотоприемника 7 усилителя 8 и регистрирующего прибора 9.

В установке, схема которой изображена на фиг.3, свет оптического зонда отражается от исследуемого образца. На исследуемый образец 6 (МДП-структура) с генератора 10 подается электрический сигнал так, чтобы создать слой на поверхности полупроводника, обогащенный носителями заряда. Свет лазера 5, отраженный исследуемым образцом, регистрируется с помощью фотоприемника 7, усилителя 8 и регистрирующего прибора 9.

Данное изобретение расширяет область применения прототипа и обладает важными отличительными преимуществами.

Во-первых, с помощью данного изобретения можно измерять время жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках при высоких концентрациях

неравновесных носителей.

Во-вторых, существует отличная возможность использования в промышленности по сравнению с прототипом рассматриваемого способа измерений. МДП-структуры часто используются в современных приборах планарной электроники, и они являются 5 одними из основных элементов интегральных микросхем. Время жизни неравновесных носителей заряда является важной характеристикой полупроводникового материала, из которого изготовлен полупроводниковый прибор, и его необходимо контролировать при промышленном производстве приборов. На определенном этапе производства из полупроводниковых пластин изготавливают 10 планарные приборы совместно с контрольными структурами на одном кристалле. Предлагаемый способ измерения можно осуществлять на контрольных МДП-структурах. Таким образом, данный способ можно применять для контроля параметров полупроводниковых приборов при их промышленном производстве.

В-третьих, данный способ можно использовать для измерения времени жизни в 15 поверхностных слоях полупроводников, так как неравновесные носители локализируются электрическим полем в тонком слое полупроводника, граничащего с диэлектриком.

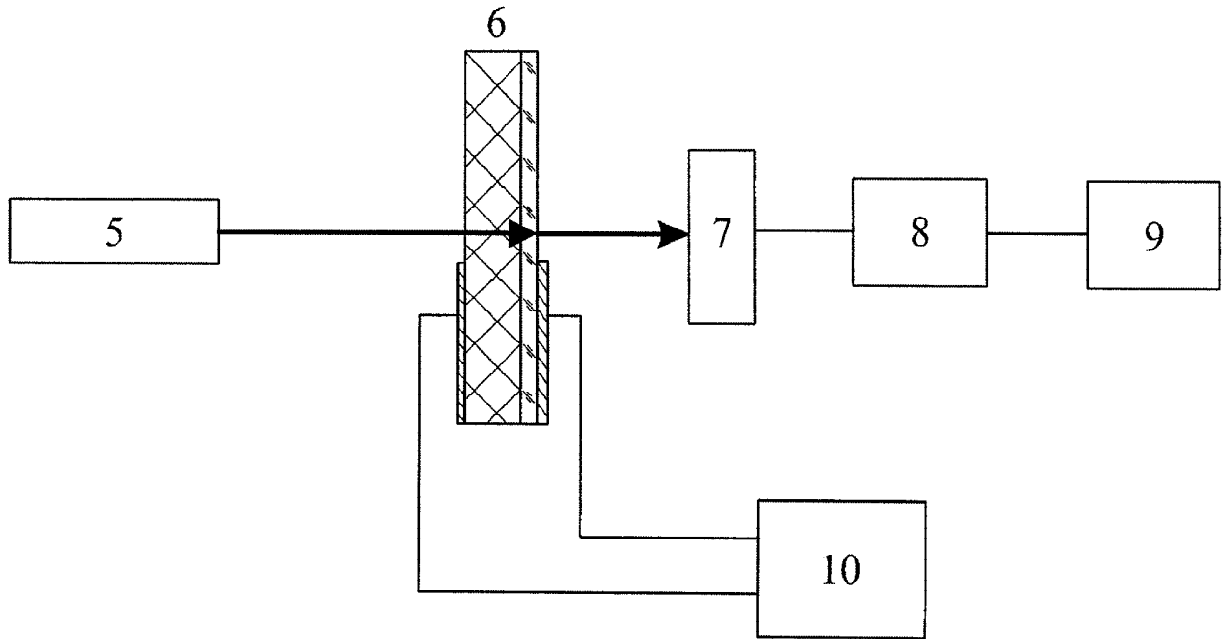
В-четвертых, данный способ измерений значительно удешевляет измерительную 20 установку по сравнению с прототипом. В самом деле, в прототипе лазер с энергией фотонов, большей ширины запрещенной зоны (инжектирующий лазер), должен обладать достаточно большой мощностью и при этом работать на определенной длине волны. Такой лазер является дефицитным прибором и имеет высокую 25 стоимость. В аппаратуре, обеспечивающей измерение по данному изобретению, мы обошлись без инжектирующего лазера, а генератор 10, который мы используем здесь, имеет значительно более низкую стоимость.

Литература

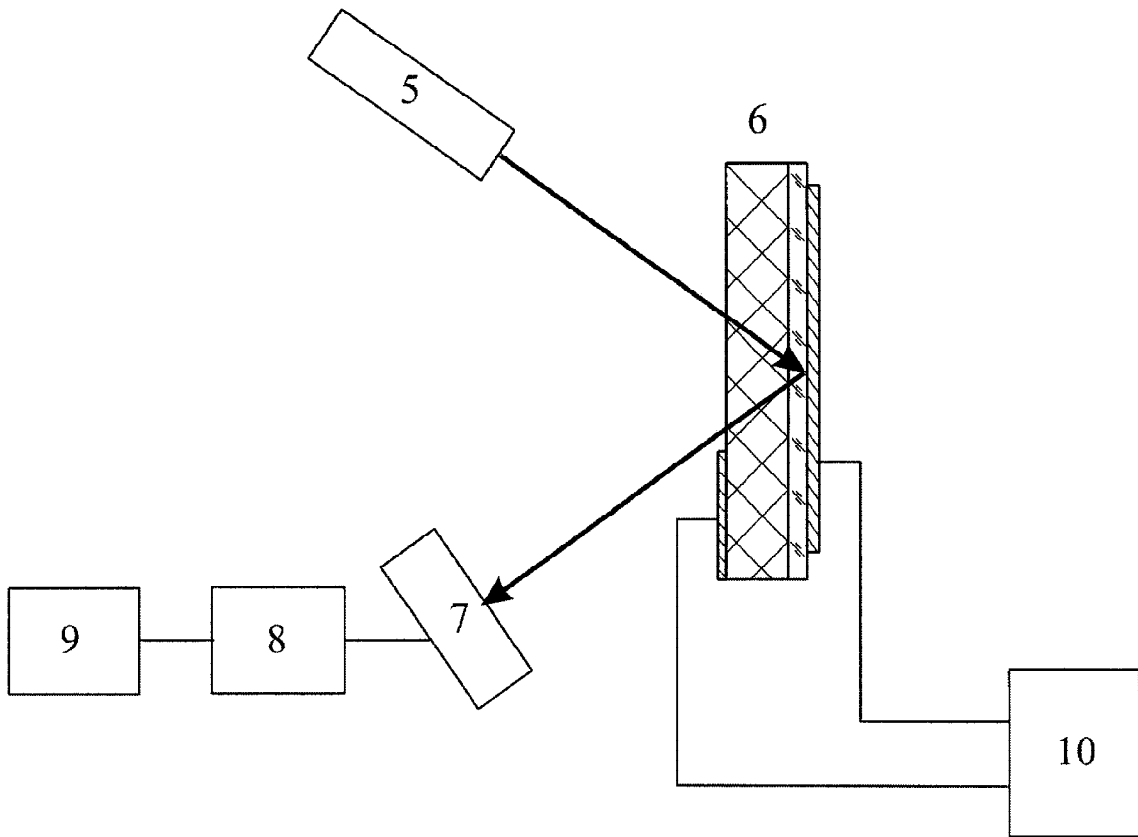
- 30 1. D.L Polla., IEEE Electron. Dev. Lett., EDL-4, 1983, №6, p.185-187.
2. Л.Н.Курбатов. и др. Интерференционный метод измерения времени жизни носителей в полупроводниках. УФЖ, 1985, т.30, №6, с.920-924.
3. Патент №2006987 РФ кл. H01L 21/66, 1994.
4. А.с. №1473552 СССР кл. C01R 31/26, 1986.
- 35 5. А.Б.Федорцов. Лазерная интерферометрия электронных параметров полупроводников. СПб., Изд-во СЗТУ, 2010. - 133 с.: 46 ил.
6. Г.П.Пека. Физические явления на поверхности полупроводников. Киев. «Выща школа», 1984.

Формула изобретения

Способ определения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках, включающий зондирование исследуемого образца излучением с 45 энергией фотонов, меньшей ширины запрещенной зоны, модуляцию концентрации неравновесных носителей заряда в полупроводнике, измерение параметров зондирующего излучения, пропущенного через образец или отраженного им, определение времени жизни неравновесных носителей заряда по измеренным параметрам зондирующего излучения, отличающийся тем, что исследуемый образец 50 выполнен в виде структуры металл-диэлектрик-полупроводник, причем концентрацию неравновесных носителей заряда модулируют подачей напряжения между металлическим и полупроводниковым слоями данной структуры.



Фиг. 2



Фиг.3