

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2450387

### СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ 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 № 2010144277

Приоритет изобретения 28 октября 2010 г.

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

Срок действия патента истекает 28 октября 2030 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

A handwritten signature in black ink, appearing to read "B.P. Simonov", is written over the printed name.





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010144277/28, 28.10.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.10.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.10.2010

(45) Опубликовано: 10.05.2012 Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: АРЕШКИН А.Г. и др. **Бесконтактный лазерный интерференционный метод неразрушающего исследования рекомбинационных характеристик электронов и дырок в полупроводниках**, Известия Академии Наук, сер. Физическая, 1992, т.56, вып.12, с.121-129. SU 1778821 A1, 30.11.1992. RU 2006987 C1, 30.01.1994. SU 1356901 A1, 20.12.1995. JP 2001007173 A, 12.01.2001. JP 11026532 A, 29.01.1999. JP 60076136 A, 30.04.1985.

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),  
Гончар Игорь Валерьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

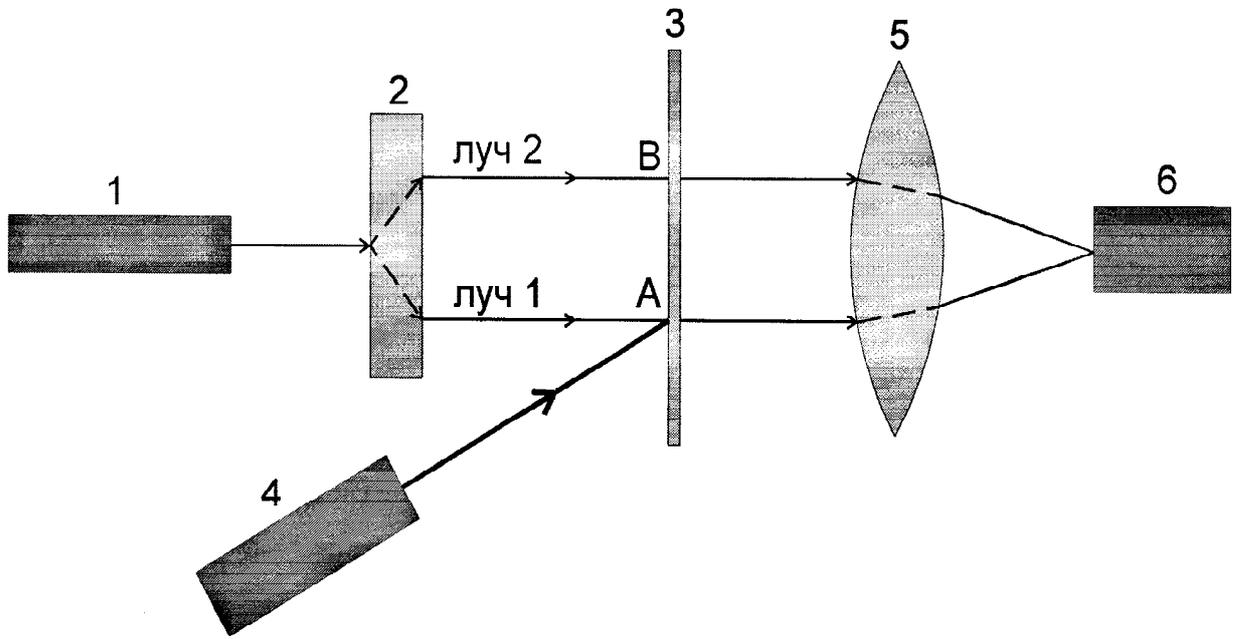
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Северо-Западный государственный заочный технический университет" (ФГБОУ ВПО "СЗТУ") (RU)**

**(54) СПОСОБ БЕСКОНТАКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для бесконтактного определения времени жизни неравновесных носителей заряда в тонких полупроводниковых пластинках. В способе используется дифференциальная оптическая схема, при помощи которой луч зондирующего лазера сначала разделяется на два луча, один из которых проходит через образец в той точке, где проводятся измерения, а другой в точке, расположенной на расстоянии, много большем диффузионной длины носителей заряда от нее. После этого оба луча собираются в одну точку, в которой расположен фотоприемник.

Вследствие изменения показателя преломления в окрестности точки образца, в которой проводятся измерения, между этими лучами изменяется разность хода. Благодаря интерференции интенсивность излучения, попавшего на фотоприемник, изменяется. Рассчитав изменение показателя преломления по изменению интенсивности падающего на фотоприемник излучения и зная параметры коротковолнового инжектирующего излучения, расчетным путем определяют время жизни носителей заряда. Применение такой схемы позволяет увеличить чувствительность метода примерно в пять раз. 2 ил.



Фиг. 1

RU 2450387 C1

RU 2450387 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H01L 21/66* (2006.01)  
*G01N 21/41* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2010144277/28, 28.10.2010

(24) Effective date for property rights:  
28.10.2010

Priority:

(22) Date of filing: 28.10.2010

(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. Knysu

(72) Inventor(s):

**Fedortsov Aleksandr Borisovich (RU),  
Ivanov Aleksej Sergeevich (RU),  
Churkin Jurij Valentinovich (RU),  
Manukhov Vasilij Vladimirovich (RU),  
Gonchar Igor' Valer'evich (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 CONTACT-FREE DETERMINATION OF LIFE SPAN FOR NON-EQUILIBRIUM CARRIERS IN SEMI-CONDUCTORS**

(57) Abstract:

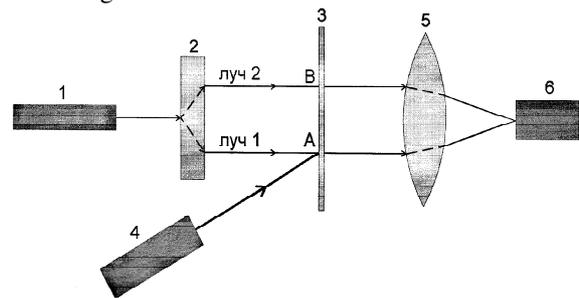
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: method uses differential optical arrangement in which beam of probing laser is divided into two beams; one beam passes through the specimen point where measurement is made while the other beam passes through the point located at distance from the first point and this distance is much bigger than diffusion distance of charge carriers. Thereafter two beams are gathered at one point where photoreceiver is located. In result of refractivity variation nearby specimen point where measurements are made path difference between these beams is lost. Due to interference changes occur in rate of radiation received by photoreceiver. Life span of charge carriers is determined by computational method based on calculation of

refractivity variation of radiation received by photoreceiver and substituting known parameters of shortwave injected radiation.

EFFECT: use of such arrangement allows increase of method sensitivity five times approximately.

2 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для бесконтактного определения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниковых пластинках. Может использоваться в научных исследованиях, а также при производстве полупроводниковых приборов.

5 Известен способ измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниковых пластинах (см. Курбатов Л.И. и др. "Интерференционный метод измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниковых пластинах". Украинский физический журнал, 1985, т.30, №6, с.920-925), основанный на  
10 облучении образца зондирующим инфракрасным излучением, а также короткими импульсами возбуждающего излучения с длиной волны из области собственного поглощения исследуемого полупроводника, определении времени жизни носителей расчетным путем по кинетике релаксации зондирующего излучения после окончания  
15 возбуждающего импульса. При этом полученная расчетным путем оптимальная оптическая толщина в каждой измеряемой точке образца устанавливается, например, его поворотом на некоторый угол. Недостатками способа являются высокая трудоемкость интерпретации результатов измерения, предполагающая применение  
20 вычислительных средств, и необходимость использования быстродействующей измерительной техники с высоким временным разрешением.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу является интерференционный способ измерения времени жизни неравновесных носителей  
25 заряда в полупроводниковых пластинах (см. Арешкин А.Г. и др. "Бесконтактный лазерный интерференционный метод неразрушающего исследования рекомбинационных характеристик электронов и дырок в полупроводниках". Известия Академии Наук, Серия Физическая, 1992, т.56, в.12, с.121-129), основанный на облучении полупроводниковых пластин зондирующим монохроматическим ИК-  
30 излучением с энергией фотонов, меньшей, чем ширина запрещенной зоны полупроводника, а также коротковолновым светом с энергией фотонов, большей ширины запрещенной зоны (прототип). Для определения времени жизни неравновесных носителей заряда в образце сначала измеряют интенсивность света зондирующего излучения, прошедшего через образец при выключенном источнике  
35 коротковолнового излучения. Затем образец освещают коротковолновым лучом, в результате чего в образце генерируются неравновесные носители тока, количество которых зависит от параметров коротковолнового инжектирующего луча, некоторых параметров образца и времени жизни носителей заряда, которое необходимо  
40 определить. При изменении концентрации неравновесных носителей заряда в образце локально (в области изменения концентрации) изменяется его показатель преломления. Причем изменение коэффициента преломления прямо пропорционально  
45 изменению концентрации носителей заряда в полупроводнике. Так как в результате изменения показателя преломления изменяется разность хода между интерферирующими лучами, отраженными лицевой и тыльной поверхностями  
50 образца, то происходит перераспределение интенсивности монохроматического света между лучом, прошедшим через образец и отраженным от него лучом. По изменению интенсивности одного из этих лучей можно рассчитать коэффициент преломления и, следовательно, концентрацию неравновесных носителей заряда. Далее, зная  
55 параметры инжектирующего луча, рассчитывают время жизни носителей заряда. Способ не требует применения быстродействующей измерительной техники и применения вычислительных средств. Чувствительность устройств, реализующих описанный метод, определяется двумя факторами: мощностью инжектирующего

коротковолнового излучения, а также тем, насколько изменяется коэффициент пропускания (и отражения) образца при заданном изменении показателя преломления. В ряде случаев для повышения чувствительности до необходимого уровня приходится использовать мощные и дорогостоящие источники инжектирующего излучения.

5 Задачей изобретения является повышение чувствительности при интерферометрических измерениях времени жизни носителей заряда в плоскопараллельных полупроводниковых образцах путем увеличения чувствительности зондирующей системы к изменению показателя преломления.

10 Для решения поставленной задачи используется дифференциальная оптическая схема, в которой луч зондирующего лазера сначала разделяется два луча, один из которых проходит через образец в той точке, где проводятся измерения, а другой в точке, расположенной на расстоянии, много большем диффузионной длины носителей заряда от нее. После этого оба луча сводятся в одну точку, в которой расположен фотоприемник. Вследствие изменения показателя преломления в окрестности точки образца, в которой проводятся измерения, между этими лучами изменяется разность хода. Благодаря интерференции двух лучей интенсивность излучения, попавшего на фотоприемник, изменяется.

20 На фиг.1 изображена оптическая схема, необходимая для реализации предлагаемого способа бесконтактного определения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Здесь 1 - источник монохроматического зондирующего излучения, 2 - оптический делитель, 3 - образец, 4 - источник коротковолнового инжектирующего излучения, 5 - собирающая линза и 6 - фотоприемник.

25 На фиг.2 изображены расчетные графики зависимости отношения интенсивностей лучей попавшего на фотоприемник и испущенного источником инжектирующего излучения лучей от показателя преломления при использовании описываемого способа и способа, заявленного в качестве прототипа.

30 Оптическая схема, используемая для реализации метода, содержит источник зондирующего излучения 1, оптический делитель 2, источник коротковолнового зондирующего излучения 4, собирающую линзу 5 и фотоприемник 6. Луч, испускаемый источником зондирующего излучения 1, разделяется при помощи оптического делителя 2 на два одинаковых по интенсивности пучка, один из них (луч 1) проходит через точку А образца 3, в которую попадает луч, испускаемый источником коротковолнового инжектирующего излучения 4. Другой же луч (луч 2) проходит через точку образца, расположенную на расстоянии, большем диффузионной длины носителей заряда от точки А (точка В). После прохождения через образец лучи сводятся (при помощи собирающей линзы 5 или иным способом) в одну точку, где расположен фотоприемник 6.

45 Работа схемы осуществляется следующим образом: при освещении точки А лучом инжектирующего лазера 4 в окрестности точки А образца 2 увеличивается количество неравновесных носителей заряда, в результате чего изменяется показатель преломления материала образца вблизи точки А. Вследствие этого изменяется оптическая разность хода между лучами 1 и 2. Вследствие интерференции между этими лучами интенсивность света, попадающего на фотоприемник 6, изменяется.

50 Параметры оптической схемы подбираются таким образом, чтобы разность хода луча 1 и луча 2 при выключенном источнике инжектирующего излучения соответствовала точке, находящейся посередине между интерференционным максимумом и минимумом. Использование дифференциальной оптической схемы

заметно увеличивает чувствительность метода.

Чтобы показать это, сравним между собой изменение интенсивности прошедшего через систему луча, возникающее вследствие изменения показателя преломления в исследуемой области образца при использовании предлагаемого метода и метода, заявленного в качестве прототипа. Отношение интенсивности падающего на фотоприемник луча к интенсивности луча зондирующего лазера в случае падения луча перпендикулярно образцу при использовании предложенного метода задается соотношением

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} [T(\delta_0) + T(\delta) + 2\sqrt{T(\delta_0)T(\delta)} \cos(\Delta\delta + \varphi)] \quad (1)$$

где  $\delta_0 = \frac{4\pi n_0 l}{\lambda}$  - фазовый угол зондирующего луча в точке В;  $\delta = \frac{4\pi n l}{\lambda}$  -

фазовый угол в точке А при облучении образца коротковолновым инжектирующим излучением;  $\Delta\delta = \frac{4\pi(n - n_0)l}{\lambda}$  - изменение разности фаз между попадающими на

фотоприемник лучами 1 и 2 при включении инжектирующего излучения. За  $\varphi$  обозначим начальную разность фаз между лучами 1 и 2 (выбирается при настройке);  $\lambda$  - длина волны зондирующего излучения;  $l$  - толщина образца;  $n$  и  $n_0$  - показатели преломления облученного и необлученного инжектирующим излучением образца соответственно.

Тогда коэффициент пропускания плоскопараллельного образца  $T(\delta)$ , если пренебречь поглощением зондирующего излучения в образце, определяется по формуле

$$T(\delta) = \frac{t^2}{(1 - r^2)^2 + 4r^2 \sin^2(\delta / 2)} \quad (2)$$

где  $r$  - коэффициент отражения света от поверхности образца;  $t=1-r$  - коэффициент пропускания света поверхностью образца. Следует отметить, что при использовании метода, заявленного в качестве прототипа, отношение интенсивностей падающего и прошедшего через образец луча  $\frac{I}{I_0} T(\delta)$ .

Для сравнения чувствительности описываемого метода с чувствительностью при применении метода, заявленного в качестве прототипа, были проведены расчеты по формулам (1) и (2) и построены графики зависимости  $\frac{I}{I_0}$  от коэффициента

преломления  $n$  вблизи значения показателя преломления кремния при длине волны 3.39 мкм при использовании обоих методов. Расчеты производились при помощи пакета Wolfram Mathematica 6.0. На фиг.2 показаны эти графики для образца толщиной 50 мкм и длины волны зондирующего излучения 3.39 мкм. Начальная разность фаз  $\varphi=0$ , коэффициент отражения  $r=0.3$ . Как видно из графиков, при одинаковом изменении показателя преломления изменение отношения интенсивностей прошедшего через систему и падающего на нее зондирующего излучения при использовании предложенного метода (кривая 1) примерно в пять раз больше, чем аналогичный параметр для метода, заявленного в качестве прототипа (кривая 2). Таким образом, использование предложенного метода позволит значительно повысить чувствительность по сравнению с методом, заявленным в качестве прототипа.

Расчет изменения показателя преломления производится с использованием

выражения (1), далее производится расчет времени жизни неравновесных носителей заряда так же, как при использовании метода, заявленного в качестве прототипа.

#### Формула изобретения

5       Способ измерения времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках, включающий облучение образца зондирующим монохроматическим инфракрасным излучением с энергией фотонов меньшей, чем ширина запрещенной зоны полупроводника, а также коротковолновым  
10       инжектирующим излучением с энергией фотонов, большей ширины запрещенной зоны, регистрацию параметров прошедшего через образец луча до и после освещения образца инжектирующим лазером, расчет изменения показателя преломления по этим  
15       данным и определение времени жизни расчетным путем, отличающийся тем, что для его реализации используется дифференциальная оптическая схема, в которой зондирующий луч разделяется на два: один из них проходит через точку падения  
инжектирующего излучения, а другой - через точку образца, находящуюся на  
расстоянии много большем диффузионной длины носителей заряда от нее, после чего  
оба луча сводятся вместе и испытывают интерференцию, результат которой  
20       регистрируется фотоприемником.

25

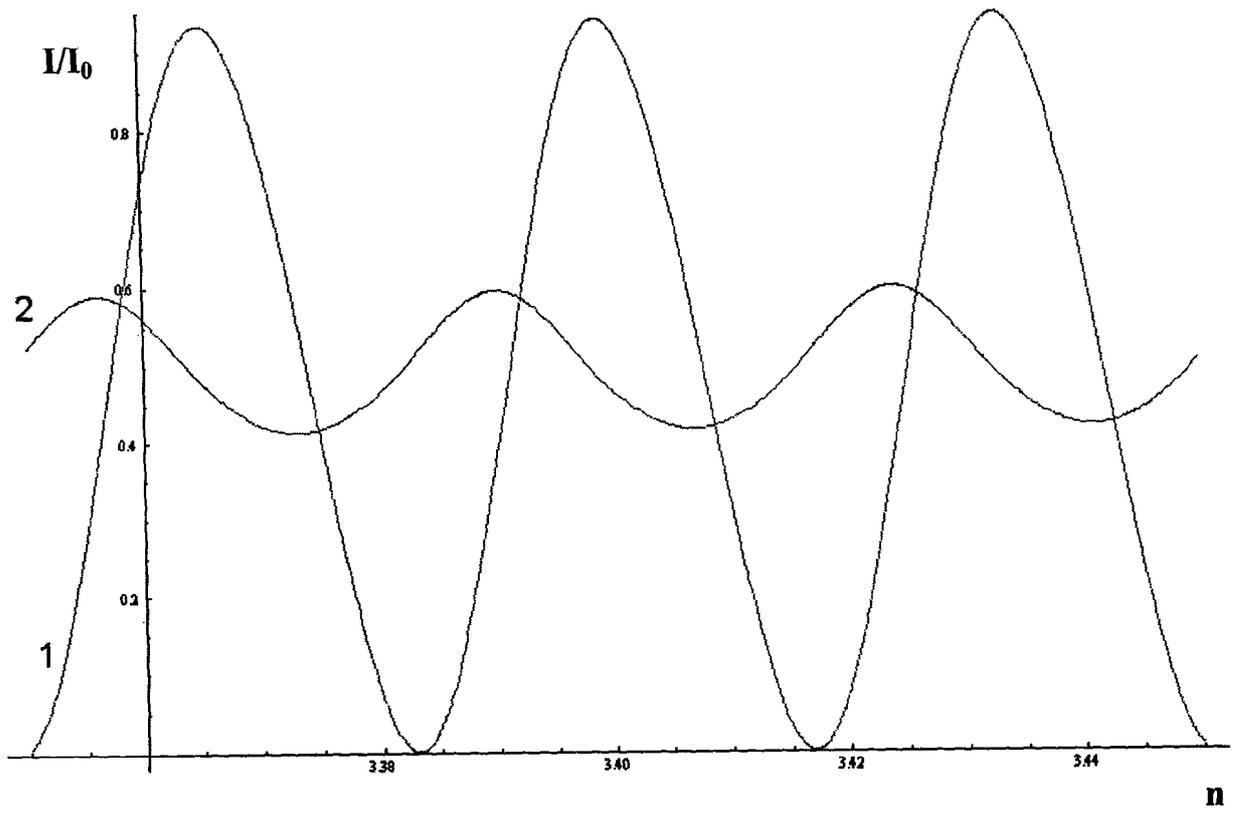
30

35

40

45

50



Фиг. 2