



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

G01R31/26 (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: по данным на 28.05.2012 - действует

Пошлина: учтена за 3 год с 13.01.2013 по 12.01.2014

(21), (22) Заявка: **2011100946/28, 12.01.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия
патента:
12.01.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **12.01.2011**(45) Опубликовано: [20.05.2012](#)

(56) Список документов, цитированных в
отчете о поиске: **US 5406214 A, 11.04.1995.**
RU 2318218 C1, 27.02.2008. SU 1689874 A1,
07.11.1991. JP 6027048 A, 04.02.1994. US
2002158642 A1, 31.10.2002.

(72) Автор(ы):

Владимиров Валерий Михайлович (RU),
Коннов Валерий Григорьевич (RU),
Марков Владимир Витальевич (RU),
Репин Николай Семенович (RU),
Шепов Владимир Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

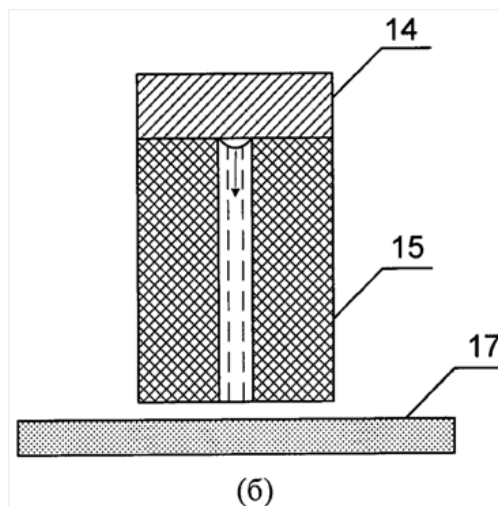
ООО НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА
"ЭЛЕКТРОН" (RU)

Адрес для переписки:
660036, г.Красноярск, Академгородок, 50,
Президиум КНЦ СО РАН

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, применяемой для измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов с использованием зондирующего электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (СВЧ), и может быть применено для определения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниковых пластинах и слитках бесконтактным СВЧ методом. Сущность изобретения заключается в том, что устройство для измерения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках содержит управляемый СВЧ блок, управляемый измерительный блок с СВЧ резонатором, а также блок управления автоматической калибровкой и измерением с применением компьютера. При этом СВЧ резонатор выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора, с одной стороны которого закреплен полупроводниковый лазерный диод, а между торцевыми поверхностями диэлектрического резонатора соосно с осью цилиндра выполнено сквозное отверстие, через которое проходит излучение лазерного диода. Технический результат - повышение точности и надежности измерений времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках бесконтактным СВЧ методом. 1 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к измерительной технике, применяемой для измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов с использованием зондирующего электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (СВЧ), и может быть применено для определения времени жизни неосновных носителей заряда (ВЖ ННЗ) в пластинах и слитках кремния бесконтактным СВЧ методом.

Известно устройство [А.С. 896524 СССР, М. Кл. G01N 22/00. - Оpubл. 07.01.1982. Бюл. № 1] для измерений параметров полупроводниковых материалов, содержащее цилиндрический резонатор с индуктивным выступом на одной из торцевых стенок, свободный конец которого расположен в отверстии, выполненном в противоположной торцевой стенке, подвижные индуктивные петли связи и сверхвысокочастотный транзистор, подключенный к источнику питания. Исследуемый полупроводник в таком устройстве прикладывается к наружной поверхности торцевой стенки цилиндрического резонатора над отверстием, в котором расположен свободный конец индуктивного выступа.

Недостатком такого устройства является то, что СВЧ сигнал подается на образец полупроводника с одной стороны, а возбуждение неравновесных носителей заряда осуществляется с другой стороны образца. В такой конфигурации устройства при небольшом удельном электросопротивлении (УЭС) полупроводника (например, менее 1 Ом×см) проникновение СВЧ поля в образец мало, и явления рекомбинации, вызванные освещением образца с противоположной стороны, надежно фиксируются только в тонких пластинах, что и подтверждают сами авторы, ограничивая применение данного устройства для измерения пластин полупроводниковых материалов. Кроме того, такое устройство не позволяет контролировать форму резонансной линии СВЧ резонатора при нагружении его на измеряемый полупроводник. Искажения же резонансной линии приводят к потере точности измерений ВЖ ННЗ.

Другим известным устройством является устройство [Патент 2318218 RU, МПК G01R 31/26. - Оpubл. 27.02.2008] для измерения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках, содержащее осциллятор высокочастотных электромагнитных колебаний, СВЧ резонатор со встроенным в него световодом для подвода светового пучка к поверхности полупроводника, циркулятор, детекторный блок, полупроводниковый лазерный диод, сопряженный со световодом, блок формирования и блок регистрации выходного сигнала с применением компьютера.

Резонатор в этом устройстве представляет собой открытый с одного торца отрезок прямоугольного волновода, в который установлена прямоугольная вставка переменной высоты, монотонно переходящая в плоскость верхней поверхности волновода при приближении к задней стенке резонатора, которая формирует в полости открытого торца резонатора выходную излучающую прямоугольную щель. Такая конструкция резонатора обеспечивает широкополосное согласование волновода со всей электромагнитной системой - при изменении внешних условий всегда имеется возможность поддержки высокочастотных колебаний путем перехода на новую моду генерации электромагнитных волн того или иного типа внутри резонаторного объема с максимальной концентрацией поля в области излучающей щели.

Недостатком такого устройства является отсутствие контроля формы резонансной линии СВЧ резонатора при нагружении его на измеряемый полупроводник. Такой контроль особенно важен при измерениях на разных модах электромагнитных волн СВЧ резонатора. Искажения же резонансной линии приводят к потере точности измерений ВЖ ННЗ.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков является устройство [Patent 5,406,214 US, Int. C1. G01R 31/26, G01R 27/06. - Date of Patent 11.04.1995], состоящее из перестраиваемого СВЧ генератора, аттенюатора, циркулятора, СВЧ детектора, усилителя (далее в материалах заявки «управляемый СВЧ блок»), СВЧ резонатора, управляемого механизма перемещения СВЧ резонатора, источника импульсного лазерного излучения, измерительного столика для образцов полупроводника (далее в материалах заявки «управляемый измерительный блок с СВЧ резонатором»). Управление устройством и позиционированием образца осуществляется от компьютера (далее в материалах заявки «блок управления с применением компьютера»).

Воздействие СВЧ зондирующего излучения и излучения лазерного диода осуществляются на одну сторону полупроводника, что позволяет помещать измеряемый полупроводник в электролитическую ванну. Управляемый СВЧ блок позволяет контролировать форму резонансной линии СВЧ резонатора, что повышает точность измерений ВЖ ННЗ.

Недостатком такого устройства является то, что СВЧ резонатор, осуществляющий связь между СВЧ блоком и измеряемым образцом полупроводника, представляет собой диэлектрическую подложку, одна сторона которой полностью металлизирована и является экраном, а на другой стороне выполнен полосковый проводник в виде круглого кольца. Добротность такого СВЧ резонатора сравнительно невысока, что приводит к потере точности измерений ВЖ ННЗ.

Техническим результатом изобретения является повышение точности и надежности измерений времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках бесконтактным СВЧ методом.

Указанный технический результат достигается тем, что в заявляемом устройстве, содержащем управляемый СВЧ блок, управляемый измерительный блок с СВЧ резонатором, а также блок управления с применением компьютера, новым является то, что СВЧ резонатор выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора, с одной стороны которого закреплен полупроводниковый лазерный диод, а между торцевыми поверхностями диэлектрического резонатора соосно с осью цилиндра выполнено сквозное отверстие, через которое проходит излучение лазерного диода.

Отличие заявляемого устройства от наиболее близкого аналога заключается в том, что СВЧ резонатор выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора, с одной стороны которого закреплен полупроводниковый лазерный диод, а между торцевыми поверхностями диэлектрического резонатора соосно с осью цилиндра выполнено сквозное отверстие, через которое проходит излучение лазерного диода.

Благодаря тому, что СВЧ резонатор выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора, добротность его значительно выше микрополоскового резонатора, что повышает точность измерений ВЖ ННЗ. Выполненное соосно с осью цилиндра отверстие между торцевыми поверхностями диэлектрического резонатора позволяет разрядить спектр высших мод электромагнитных волн цилиндрического диэлектрического резонатора. Изменяя длину резонатора и диаметр отверстия, можно регулировать частотное положение как основной моды, так и высших мод электромагнитных колебаний резонатора таким образом, чтобы несколько мод электромагнитных колебаний разного типа СВЧ резонатора находились в диапазоне рабочих частот перестраиваемого СВЧ генератора, входящего в состав управляемого СВЧ блока. Тогда при измерении ВЖ ННЗ в широком диапазоне УЭС полупроводников становится возможным проведение измерений на нескольких модах электромагнитных колебаний диэлектрического резонатора. Такое решение делает устройство надежным в работе, так как при срыве генерации высокочастотных колебаний СВЧ резонатора на одной моде всегда имеется возможность переключения процесса измерения на другую моду электромагнитных колебаний СВЧ резонатора. Кроме того, управляемый СВЧ блок позволяет контролировать форму резонансной линии как основной, так и высших мод электромагнитных колебаний СВЧ резонатора. Устранение искажений формы резонансной линии основной и высших мод электромагнитных колебаний СВЧ резонатора повышает точность измерений ВЖ ННЗ.

Изобретение поясняется фиг.1 (а) и (б).

На фиг.1 (а) показана структурная схема заявляемого устройства, где 1 - СВЧ генератор, управляемый напряжением (ГУН), 2 - ответвитель, 3 - СВЧ усилитель, 4 - управляемый цифровой аттенюатор, 5 -

циркулятор, 6 - цифровой синтезатор частоты, 7 - детектор, 8 - опорный генератор, 9 - программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), 10 - операционный усилитель, 11 - плата управления, 12 - персональный компьютер, 13 - аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 14 - полупроводниковый лазерный диод, 15 - СВЧ резонатор, 16 - управляемый механизм перемещения СВЧ резонатора, 17 - измеряемый полупроводник, 18 - электролитическая ванна, 19 - измерительный столик, 20 - блок управления перемещением измерительного столика.

На фиг.1 (б) условно показан разрез СВЧ резонатора (15), представляющего собой цилиндрический диэлектрический резонатор. С одной стороны цилиндрического диэлектрического резонатора закреплен полупроводниковый лазерный диод (14), а между торцевыми поверхностями соосно с осью цилиндра выполнено сквозное отверстие, сквозь которое проходит излучение лазерного диода. СВЧ резонатор нагружен на измеряемый полупроводник (17). В сквозном отверстии СВЧ резонатора между лазерным диодом и измеряемым образцом полупроводника возможна установка световода, показанного на фиг.1 (б) штриховой линией.

Устройство работает следующим образом. Команда управляющей программы с персонального компьютера (12) через USB порт поступает на плату управления (11). Контроллер платы управления координирует работу ПЛИС (9), схемы управления излучением лазерного диода (14) и схемы управления перемещением измерительного столика (20). ПЛИС управляет работой схемы цифрового синтезатора частоты (6), цифрового аттенюатора (4) и операционного усилителя (10).

С помощью управляющей программы задаются нижняя (F_1) и верхняя (F_h) границы развертки частоты СВЧ генератора, а также шаг развертки. С ГУНа СВЧ сигнал поступает на ответвитель (2), с которого часть сигнала поступает на СВЧ усилитель (3), а часть на цифровой синтезатор частоты (6). На другой вход синтезатора поступает сигнал с опорного генератора (8). На выходе частотно-фазового детектора, входящего в состав синтезатора частоты, формируется сигнал управления, зависящий от разности фаз сравниваемых сигналов с ГУНа и с опорного генератора. С выхода СВЧ усилителя (3) СВЧ сигнал поступает на цифровой аттенюатор (4) и, далее, через циркулятор (5) на СВЧ резонатор (15), нагруженный на измеряемый образец полупроводника. Для измерений ВЖ ННЗ в широком диапазоне УЭС полупроводников мощность управляемого СВЧ блока можно регулировать в пределах 0.01-100 мВт с помощью цифрового аттенюатора (4).

Отраженный от полупроводника СВЧ сигнал через циркулятор (5) поступает на детектор (7). Далее продетектированный сигнал усиливается операционным усилителем с управляемым коэффициентом усиления (10) до уровня, необходимого для работы АЦП (13), и, затем, поступает на персональный компьютер (12).

Изменяемый образец полупроводника (17) можно помещать в электролитическую ванну (18), которая крепится к измерительному столику (19). По команде управляющей программы механизм (16) приближает зонд с СВЧ резонатором (15) и лазерным диодом (14) к полупроводниковому образцу (17). На экране монитора в режиме реального времени отображается изменение частоты, амплитуды и формы резонансной линии. В программе предусмотрено также задание частот F_1 и F_h в ручном режиме.

Связь СВЧ резонатора с измеряемым полупроводником регулируется как в ручном режиме, так и в автоматическом с помощью программы, которая отслеживает допустимое искажение резонансной линии при приближении зонда с СВЧ резонатором и лазерным диодом к полупроводниковому образцу.

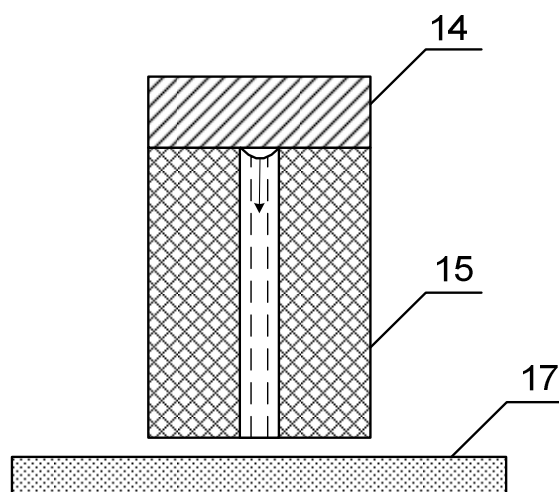
После установления оптимальной связи между измеряемым полупроводником и СВЧ резонатором по команде управляющей программы импульс лазерного излучения заданной длительности и мощности проходит через сквозное отверстие в цилиндрическом диэлектрическом резонаторе и возбуждает неосновные носители заряда в полупроводнике. Спад фотопроводимости фиксируется через зависимость изменения ширины или амплитуды резонансной линии СВЧ резонатора от времени. Далее по спаду фотопроводимости определяется эффективное и рассчитывается объемное ВЖ ННЗ в полупроводнике по стандартным методикам.

Высокая степень локальности СВЧ электрического поля резонатора и управляемый измерительный столик позволяют в автоматическом режиме измерять распределение ВЖ ННЗ по поверхности пластин и слитков полупроводника.

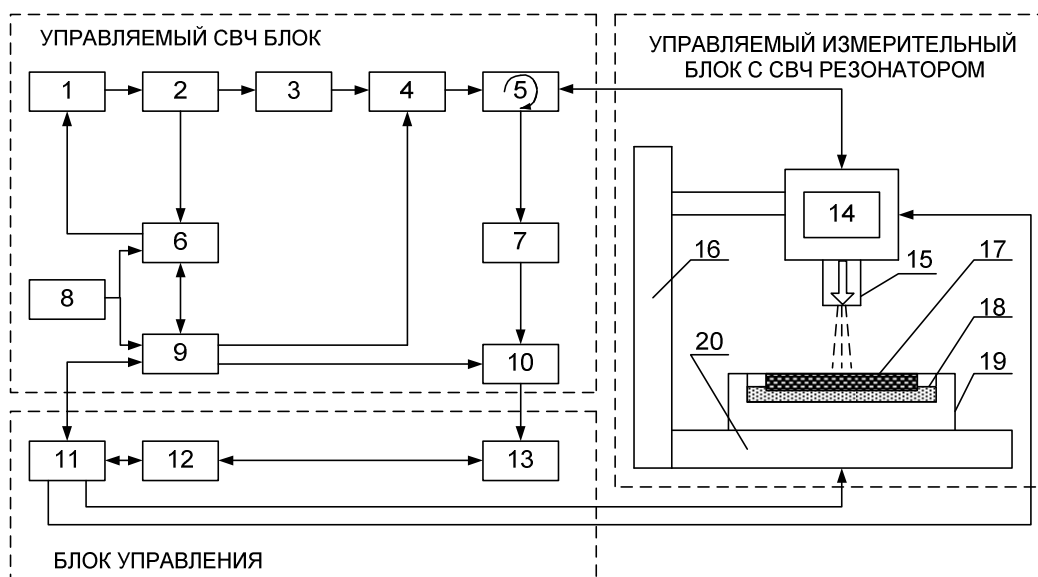
Формула изобретения

Устройство для измерения электрофизических параметров полупроводников бесконтактным СВЧ-методом, содержащее управляемый СВЧ-блок, управляемый измерительный блок с СВЧ-резонатором, а также блок управления с применением компьютера, отличающееся тем, что СВЧ-резонатор выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора, с одной стороны которого закреплен полупроводниковый лазерный диод, а между торцевыми поверхностями диэлектрического резонатора соосно с осью цилиндра выполнено сквозное отверстие, через которое проходит излучение лазерного диода.

РИСУНКИ



Фиг. 1.



Фиг. 2.