МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Болгарская Академия наук
ООО «Научно исследовательское предприятие «Лазерные технологии»

ИННОВАТИКА-2019

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых
25–27 апреля 2019 г.
г. Томск, Россия

Под редакцией А.Н. Солдатова, С.Л. Минькова

Scientific & Technical Translations
STT
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Томск – 2019

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ СВЧ-МЕТОДОМ

М.А.Тимофеева, А. Г. Левашкин, А. И. Башкиров, Л. Г. Лапатин
Национальный исследовательский Томский государственный университет
timofeeva.marya1@gmail.com

MEASUREMENT OF THE LIFETIME OF NONEQUILIBRIUM CHARGE CARRIERS IN POLY-CRYSTALLINE SILICON BY A MICROWAVE TECHNIQUE

M.A. Timofeyeva, A. G. Levashkin, A.I. Bashkirov, L.G. Lapatin
National Research Tomsk State University

The article is devoted to the possibilities of measuring the lifetime of nonequilibrium charge carriers in polycrystalline silicon by microwave method. The results of measurements of the lifetime in the samples of polycrystalline silicon

Keywords: polycrystalline silicon, lifetime of nonequilibrium charge carriers, microwave.

Одной из важнейших задач любого предприятия является выбор сырья, которое соответствовало бы набору качеств, необходимых для производства продукции. Для определения качества материала, используемого для производства различных полупроводниковых приборов, необходимо измерять его основные параметры: удельное сопротивление, концентрацию основных и неосновных носителей заряда, объёмное время жизни неравновесных носителей заряда (ВЖННЗ), тип проводимости, концентрации донорных и акцепторных примесей и концентрацию глубоких рекомбинационных центров. Возможность вариации этих параметров во многом предопределяет применение полупроводниковых материалов для изготовления приборов с нужными характеристиками.

Поликристаллический кремний (ППК) - сырьё полупроводниковой промышленности, используемое для получения монокристаллического кремния (МКК) и мультикремния (МК). Традиционно, поликристаллический кремний получают из технического кремния хлорированием с последующей очисткой от побочных продуктов с помощью многостадийной ректификации и последующим восстановлением водородом с осаждением кремния на стержни-основы. При выращивании кремния данным способом в нём содержатся примеси, которые могут повлиять на качест-

во материала. В зависимости от содержания и типа примесей электрофизические параметры материала могут меняться в широких пределах.

Наиболее информативным в плане контроля содержания примесей в полупроводнике являются методы, позволяющие измерять время жизни неравновесных носителей. Данные методы контроля по принципу измерения можно подразделить на контактные и бесконтактные.

К контактным методам можно отнести: метод затухания фотопроводимости и метод модуляции проводимости в точечном контакте. Основными недостатками контактных методов является необходимость изготовления специальных образцов, создания хороших омических контактов и трудоёмкость оценки влияния неоднородностей и дефектов материала. К бесконтактным методам относятся оптические методы и методы измерения ВЖ ННЗ по спаду фотопроводимости на СВЧ.

В данной работе проведены результаты измерения ВЖННЗ на СВЧ-установке «СЕМИКОН». Установка предназначена для автоматизированного определения рекомбинационного времени жизни неравновесных носителей заряда бесконтактным СВЧ-методом по измерению спада кривой фотопроводимости в пластинах поликристаллического кремния [1].

Измерительным преобразователем в данной установки является СВЧ-резонатор квазистатического типа с внешним измерительным отверстием (рис. 1).

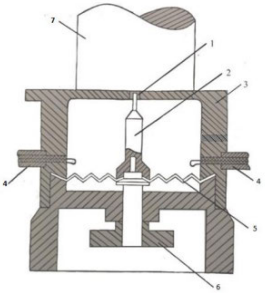

Рис. 5. Конструкция СВЧ-резонатора: 1- измерительное отверстие; 2-индуктивный штырь; 3- стенка; 4 – элементы связи; 5 – металлическая диафрагма; 6 – механизм перемещения индуктивного штыря; 7- образец

В процессе измерения исследуемый полупроводниковый образец (7) располагается в пучности электрического поля резонатора над измерительным отверстием (1), в котором размещается индуктивный штырь (2).

Частично заполняя краевое электрическое поле между торцом штыря (1) и верхней стенкой резонатора (3), полупроводник изменяет собственную частоту и добротность резонатора. Добротность резонатора оценивается по уровню прошедшей через него мощности, которая поступает на резонатор через входную, а выводится через выходную петли связи (4). Далее СВЧ-мощность детектируется и поступает в микропроцессор, который управляет работой установки и выводит результаты на экран ПК. Таким образом, потери, вносимые полупроводниковым образцом, зависящие от его удельного сопротивления, регистрируются как изменение прошедшей через резонатор СВЧ мощности [2]. Для измерения удельного сопротивления полупроводника необходимо построение калибровочной кривой, которое выполняется с использованием набора стандартных по удельному сопротивлению образцов.

Отметим особо, что использование в данной установке в качестве измерительного преобразователя резонатора приведенной выше конструкции позволяет обеспечить высокую локальность измерений, так как получаемые результаты измерений зависят лишь от той области полупроводника, которая «включается» в электрическое СВЧ поле резонатора.

Очевидно, что значение удельного сопротивления полупроводника связано с концентрацией носителей заряда формулой

$$\rho = \frac{1}{q*n*\mu}$$

Поэтому, данная установка при воздействии на полупроводник световыми импульсами прямоугольной формы в область его «включения» в электрическое поле позволяет отслеживать динамику релаксации неравновесных носителей заряда, т.е. оценить промежуток времени τ, за который проводимость полупроводника возвращается к первоначальному значению, которое она имела до облучения.

В качестве демонстрации возможностей данной установки на Рис. 7 приведены результаты измерения ВЖ ННЗ в образцах поликристаллического кремния ПК1 (Рис. 6) и ПК2, произведённого на заводе ООО «Усолье-Сибирский Силикон».

Типичная форма сигнала спада фотопроводимости приведена на Рис. 7.

Обращает на себя внимание тот факт, что кривую спада проводимости на рис.Рис. 7 условно можно разбить на два участка: «быстрый» (начальный) и «медленный» (конечный), причем, как известно, быстрый участок характеризует концентрацию глубоких уровней (примесь) в полупровод-

никовом кристалле, а медленный характеризует наличие потенциала на границе зёрен поликристалла.

Обработанные результаты измерений в трех различных точках двух подобных образцов приведены в Известно, что в качестве рекомбинационных центров в полупроводниках могут выступать различного рода примеси и дефекты кристаллической решётки, а значение межзёренного потенциала несёт информацию об однородности исследуемого образца.

Таблица 1.

Из приведённых в Известно, что в качестве рекомбинационных центров в полупроводниках могут выступать различного рода примеси и дефекты кристаллической решётки, а значение межзёренного потенциала несёт информацию об однородности исследуемого образца.

Таблица 1 данных видно, что значения удельного сопротивления, ВЖ ННЗ и концентрации глубоких уровней различны не только для разных образцов, но и для различных точек одного и того же образца.

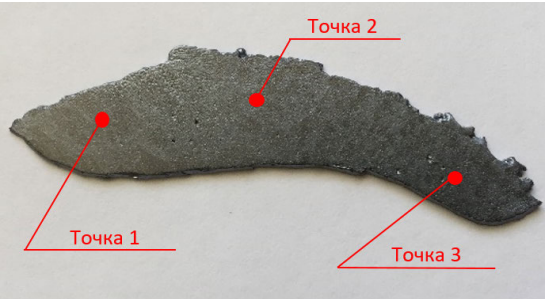

Рис. 6. Образец ПК1

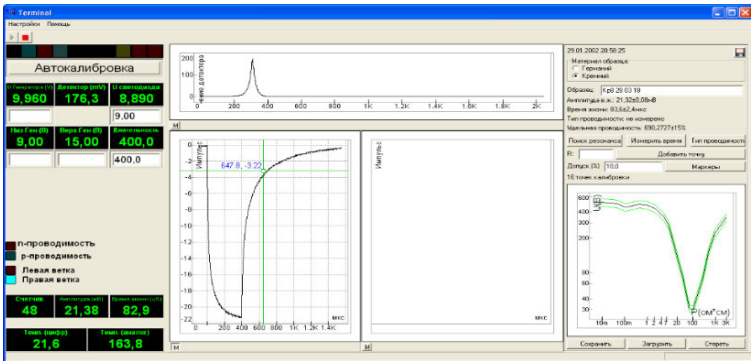

Рис. 7. Результаты измерения ПК1 в точке 3

Известно, что в качестве рекомбинационных центров в полупроводниках могут выступать различного рода примеси и дефекты кристаллической решётки, а значение межзёренного потенциала несёт информацию об однородности исследуемого образца.

Таблица 1

Результаты измерений

№ образца	Точка	Измеренная удельное сопротивление, Ом×см	Измеренное $\tau_{короткое}$, мкс	Измеренное $\tau_{длинное}$, мкс	Концентрация глубоких уровней N_i, 1/см^2
1	1	747,3681	13	182	$7.69*10^{13}$
1	2	759,7927	15	193	$6.67*10^{13}$
1	3	690,2727	14	188	$7.14*10^{13}$
2	1	488,1623	8	148	$12,5*10^{13}$
2	2	523,5426	22	181	$4,55*10^{13}$
2	3	476,1876	16	176	$6,25*10^{13}$

Таким образом, предлагаемый в данной работе СВЧ-метод измерения времени жизни неравновесных носителей заряда, основанный на использовании резонатора квазистатического типа с внешним измерительным отверстием, позволят дать комплексную оценку качества исследуемого полупроводникового материала и, тем самым, обеспечить качественный «входной контроль» сырья на предприятиях – изготовителях полупроводниковых приборов.

Литература

1. Измерительно-вычислительный комплекс «Анкара».: Руководство по эксплуатации / Томский государственный университет. – Томск, 2008г.

2. Лапатин Л.Г., Левашкин А.Г. Об измерении удельного сопротивления чистого германия бесконтактным резонаторным методом на СВЧ при наличии на поверхности образцов изгибов зон//Изв. вузов: Физика. -1983. -№ 4. -С. 128.