

О Т З Ы В


на автореферат диссертации Лошаченко А.С. “ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ДИСЛОКАЦИОННЫМИ СЕТКАМИ СРАЩЕННЫХ ПЛАСТИН КРЕМНИЯ ”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.10– физика полупроводников)

Контроль рекомбинационной активности мелких и глубоких центров с помощью пассивации водородом мультикристаллического кремния и приборных структур на его основе в настоящее время является одной из наиболее важных тематик физики дефектов в кристаллах и полупроводникового материаловедения. Поэтому развитие данного направления ставит все большее число вопросов, касающихся микроскопической природы структуры водородсодержащих центров, а также их влияния на электронные и оптические свойства кремниевых структур. Вышесказанное определяет актуальность диссертационной работы А.С. Лошаченко, цель которой состояла в изучении взаимодействия водорода с сетками дислокаций, созданных методом сращивания пластин кремния, при температурах в интервале 300-400К, когда водород сохраняет высокую подвижность и не взаимодействует с ядрами дислокаций.

В работе получен целый ряд интересных новых результатов, к числу которых прежде всего можно отнести обнаружение влияния внешнего затягивающего электрического поля на усиление миграция водорода через интерфейс сращенных кремниевых пластин, а также - экспериментальное подтверждение существования нейтрального моноатомного водорода в центре Si-Si связи кристаллической решётки кремния в полях упругих деформаций дислокаций. Практическая значимость полученных результатов заключается в возможном использовании предложенной автором новой методики измерения слабых сигналов комбинационного рассеяния от захороненных в объёме материала слоёв, которая позволяет, например, обнаружить колебательную моду моноатомного водорода на дислокационных сетках в кремнии.

Считаю, что по актуальности, новине и практическому значению полученных результатов диссертация Лошаченко А.С. полностью удовлетворяет критериям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор безусловно заслуживает присуждения искомой степени.

Доктор физ.-мат.наук, профессор



Н.Т. Баграев

17 мая 2018 года



В диссертационный совет Д 212.232.33
при Санкт-Петербургском Государственном
Университете
198504, Санкт-Петербург, Петродворец,
ул. Ульяновская, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации ЛОШАЧЕНКО Антона Сергеевича
«Взаимодействие водорода с дислокационными сетками сращенных пластин кремния»,
представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

В последние годы происходит резкое увеличение промышленного производства солнечных элементов на основе мультикристаллического кремния. Образующиеся при выращивании такого кремния дислокации значительно снижают значения времени жизни неосновных носителей заряда. Улучшения качества мультикристаллического кремния добиваются путем использования методов фосфорного и алюминиевого геттерирования и водородной пассивации центров безызлучательной рекомбинации. Если методы геттерирования изучены достаточно хорошо, то процессы водородной пассивации центров безызлучательной рекомбинации, обусловленных дислокациями, исследованы в основном применительно к пластически деформированному кремнию. В таком материале протяженные дефекты представляют собой сложные агломераты дислокаций различного вида, распределение которых крайне неоднородно по объему пластин. Разработанная технология сращивания пластин (так называемый bonding процесс) позволила получать на границе раздела дислокационные сетки с одним заданным типом дислокаций и их однородным распределением по площади образцов. Этим и определяется актуальность темы диссертации, посвященной исследованию взаимодействия водорода с дислокационными сетками в сращенных пластинах кремния.

Один из основных результатов работы получен при исследовании процесса взаимодействия водорода с сетками дислокаций, образовавшихся на границе сращенных пластин кремния. Водород вводился в образцы из водных растворов слабых кислот. Обнаружено, что дислокационные сетки в значительной степени препятствуют диффузии водорода в объем образцов при низких температурах и характеризуются повышенным коэффициентом сегрегации водорода. Впервые установлено, что приложение внешнего электрического поля при температуре выше 340 К обеспечивает интенсивную миграцию водорода через сетки. На основании экспериментальных данных предложена энергетическая диаграмма, объясняющая миграцию водорода в окрестности винтовой дислокации.

Другим важным результатом является разработка метода измерения слабых сигналов комбинационного рассеяния от скрытого слоя, содержащего сетку дислокаций, в объеме образцов. Метод основан на сопоставлении результатов измерения оптического интерференционного усиления и данных оптической и электронной микроскопии. В настоящем исследовании он позволил обнаружить колебательную моду моноатомного водорода на дислокационной сетке. Представляется, что разработанный метод может быть

использован для исследования других структур со скрытыми на небольшой глубине тонкими слоями, полученными при имплантации или эпитаксиальном выращивании, что представляет и практический интерес,

Достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием высокочувствительных экспериментальных методов (вольт-фарадных характеристик, емкостной нестационарной спектроскопии глубоких уровней, оптической и просвечивающей электронной микроскопии, комбинационного рассеяния света) и современных представлений физики твердого тела.

По содержанию автореферата имеется одно замечание. В главе 6 обсуждаются результаты исследования электрически активных центров. Но кроме аббревиатур никакие параметры этих центров и их концентрации не приводятся. Также отсутствует их сопоставление с имеющимися в литературе центрами.

Это замечание, однако, не влияет на общую безусловно положительную оценку работы. Диссертационная работа Лошаченко Антона Сергеевича «Взаимодействие водорода с дислокационными сетками сращенных пластин кремния» выполнена на высоком научном уровне и полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории физики полупроводниковых приборов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
доктор физико-математических наук

Н.А. Соболев

Контактная информация:

Почтовый адрес: ул. Политехническая д. 26, Санкт-Петербург, 194021

e-mail: nick@sobolev.ioffe.rssi.ru

«22» 05 2018 г.

Подпись _____

зав.отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе



В диссертационный совет Д 212.232.33
при Санкт-Петербургском Государственном
Университете
198504, Санкт-Петербург, Петродворец,
ул. Ульяновская, д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **ЛОШАЧЕНКО Антона Сергеевича**
«Взаимодействие водорода с дислокационными сетками сращенных пластин кремния»,
представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Водородная пассивация широко используется для уменьшения негативного влияния от рекомбинационной активности дислокаций и границ зёрен на рабочие характеристики солнечных преобразователей и других полупроводниковых структур на основе кремния.

На протяжении долгого времени основной объём экспериментальной информации о таком взаимодействии составляют результаты, полученные при изучении пластически деформированного кремния, где дислокации имели сложную неоднородную структуру и примесный состав, как в окрестности дислокации, так и вне её. Указанные выше обстоятельства делали полученные результаты крайне сложными для анализа и дальнейшей интерпретации.

В представленной работе исследовались дислокационная структура, полученные по технологии сращивания пластин кремния в комбинации с технологией SmartCut. Благодаря такому подходу становится возможным получить дислокационную сетку, которая локализована параллельно поверхности на столь малой глубине, что она попадает в область пространственного заряда Шоттки-диодов, сформированного на базе такой пластины. Наличие подобного объекта с хорошо определённой дислокационной структурой без каких-либо заметных загрязнений позволяет перенести некоторые приёмы, которые ранее с успехом применялись для исследований взаимодействия водорода с точечными дефектами, на дислокации, а в перспективе даёт возможность развивать новые экспериментальные подходы при изучении свойств дислокаций.

В представленной работе продемонстрированы новые результаты, которые демонстрируют взаимодействие водорода с полями упругих деформации в окрестности дислокации интерфейса сращенных пластин кремния. Впервые экспериментально показано, наличие относительно слабосвязанного водорода в окрестности дислокации, установлено положение атома водорода в деформированной решётке кремния, а также его зарядовое состояние. Кроме того, была предложена и реализована схема измерения слабых сигналов комбинационного рассеяния, которая позволила значительно поднять чувствительность метода. Данный подход может оказаться крайне эффективным для исследования и других объектов с захороненными на небольшой глубине ультратонких слоёв.

Помимо этого, в работе также экспериментально показано, отсутствие водородной пассивации центров ответственных за мелкие дислокационные уровни, что указывает на то, что они не связаны ни с сегрегированной примесью, ни с оборванными связями и перегибами на ядре дислокации, что подтверждает их связь с состояниями деформационного потенциала.

На основании знакомства с авторефератом и опубликованными работами считаю, что по научно-практическому значению, достоверности и новизне диссертационная работа Лошаченко Антона Сергеевича «Взаимодействие водорода с дислокационными сетками

сращенных пластин кремния», полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — физика полупроводников.



Штром Игорь Викторович

Заведующий лаборатории приборов и методов эпитаксиальных нанотехнологий, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт аналитического приборостроения РАН (г. Санкт-Петербург), кандидат физико-математических наук по специальности 01.07.10

Контактная информация:

Почтовый адрес: ул. Ивана Черных д. 31-33 лит. А, Санкт-Петербург, 198095
e-mail: igorstroh@mail.ru

«30» мая 2018 г.



1 Курочкин Ф.Е.