

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Соловьёва Ярослава Александровича на тему:

«Формирование методом быстрой термообработки барьерных слоев для кремниевых диодов Шоттки с улучшенной энергоэффективностью», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро – наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Диссертация Соловьёва Я. А. посвящена разработке новых технологических процессов формирования быстрой термообработкой контактно - барьерных структур с заданными свойствами для создания кремниевых диодов Шоттки с улучшенной энергоэффективностью, поэтому актуальность настоящей работы, являющейся концептуальным развитием направления «фотонные технологии для создания микроэлектронных устройств, не вызывает сомнений.

В диссертационной работе по результатам проведённых исследований предложена модифицированная модель быстрой термообработки (БТО) высоколегированных кремниевых пластин импульсом некогерентного источника излучения постоянной мощности. БТО Cr/Si при температуре 400–550 °С приводит к волнообразной морфологии поверхности, обусловленной генерацией вакансий за счет эффекта Киркендала и их последующей деформационно-стимулированной диффузией. Проведение БТО Ni/Si в диапазоне температур от 400 до 450 °С вызывает формирование структурно-однородного слоя NiSi с размерами кристаллитов от 100 до 200 нм, сглаженной границей раздела с кремнием и высотой барьера ~ 0,63 В. БТО системы Ni-Pt-V/Si при температуре 450–500 °С ведет к образованию фазы NiSi на эпитаксиальных к подложке доменах β -Ni₃₁Si₁₂, содержащих атомы Pt, инкорпорированные в зародыши растущей фазы силицида на ранних стадиях формирования. Сегрегация силицида платины на межзеренных границах, включая границу раздела с кремнием, в том числе в ходе БТО системы Ni-V/Pt/Si за счет диффузии Si при температуре 400 °С, Ni при температуре 450 °С и Pt при температуре выше 500 °С в результате последовательности образования PtSi → NiSi → Ni_xPt_ySi, соответственно, приводит к формированию на границе раздела с Si структурно-однородного слоя Ni_xPt_ySi со сглаженной морфологией и уменьшенной дефектностью границы раздела.

Научной новизной отличаются положения исследования, относящиеся к:

1. предложенной физико-математической модели нагрева высоколегированных кремниевых пластин, облучаемых с обратной стороны некогерентным потоком излучения постоянной плотности, основанной на уравнении нестационарной теплопроводности, прогнозирующей изменение температуры пластины от мощности источника излучения и времени при нагреве от начальной температуры до 960 °С;
2. установлению закономерностей электрофизических и структурно-фазовых изменений в системе Cr/Si, вызванных БТО (~7 с) некогерентным потоком излучения постоянной мощности со стороны кремния в среде N₂, заключающихся в формиро-

вании при температуре более 400 °С слоя CrSi_2 с размерами кристаллических зерен от 200 до 500 нм и волнообразной морфологией поверхности, обусловленной генерацией вакансий за счет эффекта Киркендала и их последующей деформационно-стимулированной диффузией, а в диапазоне температур от 450 до 500 °С – в стабилизации удельного сопротивления слоя CrSi_2 в диапазоне от 2 до 4 мОм·см и формировании сглаженного микрорельефа границы CrSi_2/Si , характеризующейся высотой барьера Шоттки $\sim 0,61$ В;

3. выявлению закономерностей электрофизических и структурно-фазовых изменений в системе Ni/Si , вызванных БТО (~ 7 с) некогерентным потоком излучения постоянной мощности со стороны кремния в среде N_2 , заключающихся в образовании фазы Ni_2Si при температуре 200 °С, силицидного слоя, содержащего фазы Ni , Ni_2Si и NiSi , при температуре 300 °С и структурно-однородного слоя орторомбической фазы NiSi в диапазоне температур от 350 до 550 °С, который в интервале температур обработки от 400 до 450 °С характеризуется размерами кристаллитов от 100 до 200 нм, сглаженной границей раздела с кремнием и высотой барьера $\sim 0,63$ В;

4. обнаружению закономерностей электрофизических и структурно-фазовых изменений в системе $\text{Ni-Pt-V}/\text{Si}$, происходящих после БТО (~ 7 с) при температуре от 450 до 500 °С некогерентным потоком излучения постоянной мощности со стороны кремния в среде N_2 , заключающиеся в образовании орторомбической фазы NiSi с трансротационной степенью упорядоченности на эпитаксиальных к подложке доменах $\beta\text{-Ni}_{31}\text{Si}_{12}$, содержащих атомы Pt, инкорпорированные в зародыши растущей фазы силицида на ранних стадиях формирования с сегрегацией силицида платины на межзеренных границах, включая границу раздела с кремнием, приводящие к формированию контакта с высотой барьера $\sim 0,71$ В;

5. установлению закономерностей электрофизических и структурно-фазовых изменений в системе $\text{Ni-V/Pt}/\text{Si}$ при БТО (~ 7 с) в интервале температур от 400 до 600 °С в среде N_2 , приводящей за счет диффузии Si при температуре 400 °С, Ni при температуре 450 °С и Pt при температуре выше 500 °С в результате последовательности фазовых переходов $\text{PtSi} \rightarrow \text{NiSi} \rightarrow \text{Ni}_x\text{Pt}_y\text{Si}$ соответственно к формированию на границе раздела с кремнием структурно однородного слоя со сглаженной морфологией границы раздела $\text{Ni}_x\text{Pt}_y\text{Si}/\text{Si}$, в которой при температуре 550 °С увеличение толщины пленки Ni-V от 20 до 40 нм обуславливает уменьшение высоты барьера Шоттки от 0,83 до 0,80 В.

Полученные результаты по кинетике фазовых превращений при БТО с постоянной плотностью мощности некогерентного светового потока, несомненно, актуальны, обладают новизной проведенного научного исследования и большой практической значимостью. Результаты исследований рекомендуется использовать в электронной промышленности при создании выпрямляющих и омических контактов в изделиях электронной техники.

В то же время, в тексте автореферата имеются некоторые недостатки и неточности:

- не указано, на каком типе (с электронной или дырочной проводимостью) высоколегированных слоев кремния проводились исследования, и от какой зоны отсчитывалась высота барьера, но известно, что промышленность, как правило, использует р-тип подложек;

- не пояснено, почему добавление 7% ванадия приводит к росту величины барьера на 0.1 эВ, хотя он не присутствует в слое силицида на границе с кремнием.

В целом, как представляется из автореферата, диссертационное исследование выполнено на высоком экспериментальном и модельном уровне, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертации, Соловьёв Я.А., несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро – наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Даю согласие на размещение данного отзыва на сайте учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Попов Владимир Павлович, д-р физ.-мат. наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников, заведующий лабораторией физических основ материаловедения кремния, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

тел.: +7 (383) 330-52-59

e-mail: popov@isp.nsc.ru

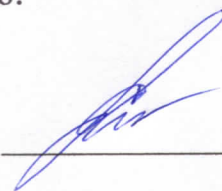


Попов Владимир Павлович

18.11. 2024

Подпись Попова В.П. удостоверяю:

Учёный секретарь
ФГБУН ИФП СО РАН
канд. физ.-мат. наук



С.А. Аржанникова

ФГБУН ИФП СО РАН, Россия, 630090 г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13.

<http://www.isp.nsc.ru/>; IFP@isp.nsc.ru