

**Гладков Н.Ю.¹, Лучинин В.В.², Вьюгинов В.Н.¹,
Клевцов В.А.¹, Травин Н.К.¹**

¹АО «Светлана-Электронприбор»

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

Развитие производства карбида кремния в ПАО «Светлана» от базовой технологии к вертикальной интеграции

В статье описано развитие работ в ПАО «Светлана» по производству изделий карбид кремниевой электронной компонентной базы.

Ключевые слова: карбид кремния, электронная компонентная база, эпитаксия

Производство современной электронной компонентной базы (ЭКБ) для СВЧ приборов и силовой электроники является наиболее актуальной на сегодняшний день задачей отечественной микроэлектроники. ЭКБ должна обеспечить расширение функциональных возможностей и повышение степени интеграции приборов и устройств, включающих аналоговые, цифровые и силовые электронные компоненты, встроенные системы электропитания и цифрового управления.

Решение вышеуказанной задачи в рамках программ по импортозамещению должно опираться на материалы российского производства. К таким материалам, безусловно, относятся подложки карбида кремния (SiC).

В ПАО «Светлана» в 2011÷2013 гг была разработана базовая технология производства подложек 6H-SiC для СВЧ применений [1]. Дальнейшее развитие технологии было обеспечено в работах по оптимизации обработки подложек с целью достижения качества поверхности «epi-ready», необходимого для эпитаксиального роста гетероструктур AlGaN/GaN [2]. Результаты разработки технологии роста гетероструктур на подложках 6H-SiC отечественного производства описаны в [3].

Подложки SiC, обладающие высокой теплопроводностью, могут использоваться не только для создания полупроводниковых структур. Исследования показали, что подложки 6H-SiC могут служить также в качестве основы СВЧ-нагрузок, что позволяет значительно улучшить их частотно-мощностные характеристики по сравнению с микрополосковыми СВЧ-нагрузками, серийно выпускаемыми отечественными и мировыми производителями [4].

Параллельно велись исследования по использованию подложек 6H-SiC в окнах вывода энергии мазеров средней мощности. Они показали, что потери в окнах из этих подложек имеют минимальное значение в диапазоне частот 20÷60 ГГц. Окна могут успешно применяться на температурах до 500 К при уровне мощности 100 ÷ 600 кВт [5].

С октября 2016 г. в ПАО «Светлана» по контракту с Минпромторгом РФ осуществляется комплексный проект по разработке и организации серийного выпуска производственной установки и базовой технологии выращивания полуизолирующих кристаллов карбида кремния 4H-SiC диаметром 100 мм, предназначенных для изготовления ЭКБ СВЧ электроники. По завершению проекта ПАО «Светлана» приобретет компетенции

по выпуску оборудования сублимационного роста, что позволит производить его самостоятельно, и открывает широкие возможности по расширению производства и номенклатуры производимых кристаллов как по диаметру, так и по типу. Кроме того, уникальное оборудование имеет экспортный потенциал. Прототип опытного образца установки роста монокристаллов 4H-SiC диаметром 4 дюйма показан на Рисунке 1. В установке реализован накопленный опыт по технологии выращивания, и использованы комплектующие и узлы российского производства.



Рис. 1. Установка роста монокристаллов 4H-SiC.

Создание производства полуизолирующих кристаллов карбида кремния 4H-SiC диаметром 100 мм имеет принципиальное значение. Этот политип по физическим причинам имеет меньшую дефектность по сравнению с политипом 6H-SiC, что важно для изготовления подложек и дальнейшего производства ЭКБ СВЧ на их основе. Кроме того, переход с диаметра 76 мм на 100 мм увеличивает выпуск ЭКБ на существующем оборудовании кристалльного производства.

В конце 2014 года участники совещания «Карбид кремния. Интеграция научно-образовательного и промышленного потенциала России», прошедшего в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и собравшего представителей тридцати четырех отечественных организаций, констатировали отсутствие системного подхода к решению вопроса о формировании в России современного промышленного производства полупроводникового карбида кремния и ЭКБ на его основе. В Российской Федерации крайне необходимо создание карбид кремниевой индустрии, как одного из направлений импортозамещения для обеспечения паритета в технологиях, определяющих в настоящее время научно-технологический прогресс и безопасность государства [6].

Концентрация ресурсов, знаний, компетенций и кадрового потенциала в области карбид кремниевой электроники от выращивания объемных монокристаллов до процессов планарной технологии, сборки и испытания изделий позволила в течение последних трех лет сформировать в рамках стратегического партнерства СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и ПАО

«Светлана» полный отечественный технологический маршрут изготовления ЭКБ на карбиде кремния.

С октября 2017 г. ПАО «Светлана» в тесном сотрудничестве с ЛЭТИ выполняет проект «Создание промышленного эпитаксиального производства карбид кремниевых многослойных структур для отечественного электронного приборостроения». В рамках проекта на предприятии создается участок газофазной эпитаксии карбида кремния CVD-методом на n+ 4H-SiC подложках на современной специализированной установке.

На установке будет осуществляться изготовление эпитаксиальных структур карбида кремния для производства ЭКБ:

- JBS-диоды;
- DMOSFET;
- СВЧ p-i-n диоды;
- дрейфовые диоды с резким восстановлением.

Эпитаксиальный рост SiC будет осуществляться в рамках совместной научно-образовательной лаборатории, созданной СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и ПАО «Светлана» на территории предприятия. Постановку технологии эпитаксиального роста SiC выполняют сотрудники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» совместно со специалистами ПАО «Светлана». Реализация проекта обеспечит независимость Российской Федерации в области карбид кремниевых полупроводниковых материалов в виде эпитаксиальных многослойных структур на монокристаллических подложках SiC собственного производства.

В течение 2018-2020 гг. в ПАО «Светлана» планируется завершить создание полной технологической линейки изготовления карбид кремниевой ЭКБ. Таким образом, ПАО «Светлана» идет по пути организации вертикальной интеграции производства приборов на основе SiC.

Библиографический список

1. Лебедев А.А., Белов С.В., Лебедев С.П., Литвин Д.П., Никитина И.П., Васильев А.В., Макаров Ю.Н., Нагалюк С.С., Стрельчук А.М., Попов В.В., Вьюгинов В.Н., Шифман Р.Г., Кузмичёв Ю.С., Травин Н.К., Венедиктов О.В. Начало промышленного выпуска SiC подложек и приборов на их основе // Труды 1-й российско-белорусской научно-технической конференции «Элементная база отечественной радиоэлектроники», посвящённой 110-ю со дня рождения О. В. Лосева / Под ред. А. Э. Рассадина. --- Н. Новгород: НИЖЕГОРОДСКАЯ РАДИОЛАБОРАТОРИЯ. 2013. В 2-х т. Т. 1. С. 23-24
2. В.Н. Вьюгинов, Н.К. Травин, О.В. Венедиктов, М.М. Коровкина, А.Ф. Цацульников, В.В. Лундин. Развитие базовой технологии производства подложек полуизолирующего карбида кремния. /Сборник статей Четвертой всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», с. 79-81, СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015, ISBN 978-5-7629-1634-9
3. А.Ф. Цацульников, В.В. Лундин, Е.Е. Заварин, А.В. Сахаров, Н.К. Травин, О.В. Венедиктов, В.П. Иванова, Я.М. Парнес, В.Е. Земляков, В.В. Волков, В.Н. Вьюгинов, М.А. Яговкина, В.Р. Тихомиров, М.Н. Мизеров. Рост НЕМТ гетероструктур AlGaIn/GaN на подложках SiC отечественного производства. /Тезисы докладов 10-й Всероссийской конференции "Нитриды галлия, индия и алюминия - структуры и приборы", с. 129-130, СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2015, ОК 005-93, т.2; 953004
4. В.Н.Вьюгинов, А.Н.Ребров, А.А. Зыбин О результатах исследования мощных микрополосковых СВЧ-нагрузок на подложке полуизолирующего карбида кремния./ Индустрия №4/2017.
5. В.В. Паршин, Е.А. Серов, Г.Г. Денисов, Б.М. Гарин, В.Н. Вьюгинов, В.А. Клевцов, Н.К. Травин. Карбид кремния для окон вывода энергии средней мощности ММ диапазона. /Международная конференция CriMiCo'2017, г. Севастополь, 10-16 сентября 2017 г.
6. А.Афанасьев, В.Н.Вьюгинов, Н.Ю.Гладков, А.А.Зыбин, В.А.Ильин, В.А.Клевцов, В.М.Кутузов, В.В.Лучинин, В.В.Попов. Импортозамещение карбид кремниевой ЭКБ. Стратегическое партнерство СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и ПАО «Светлана»./ Наноиндустрия 8(79)/2017, с. 50-59, ISSN 1993-8578