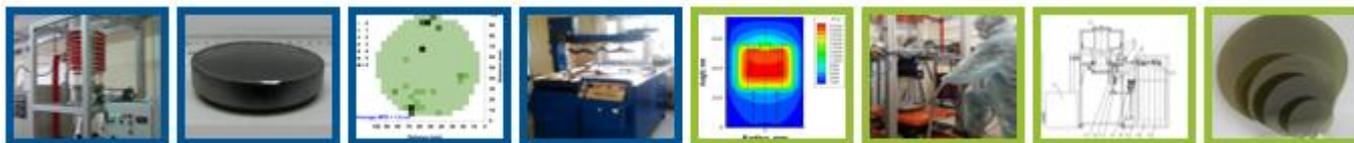
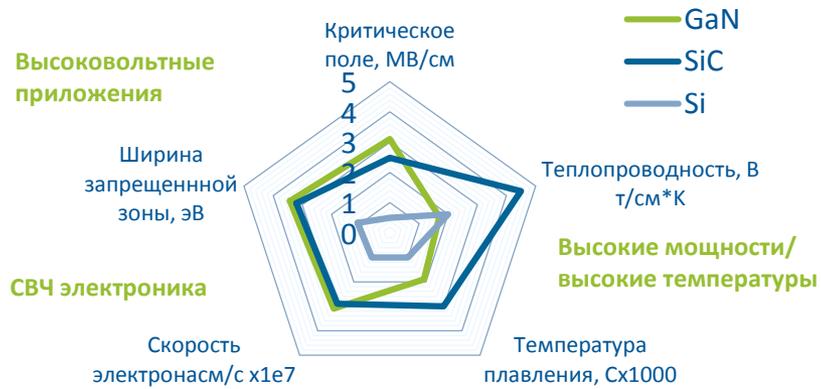


# Технологические разработки и производство подложек карбида кремния для силовой и СВЧ электроники



# преимущества карбида кремния



## Материал

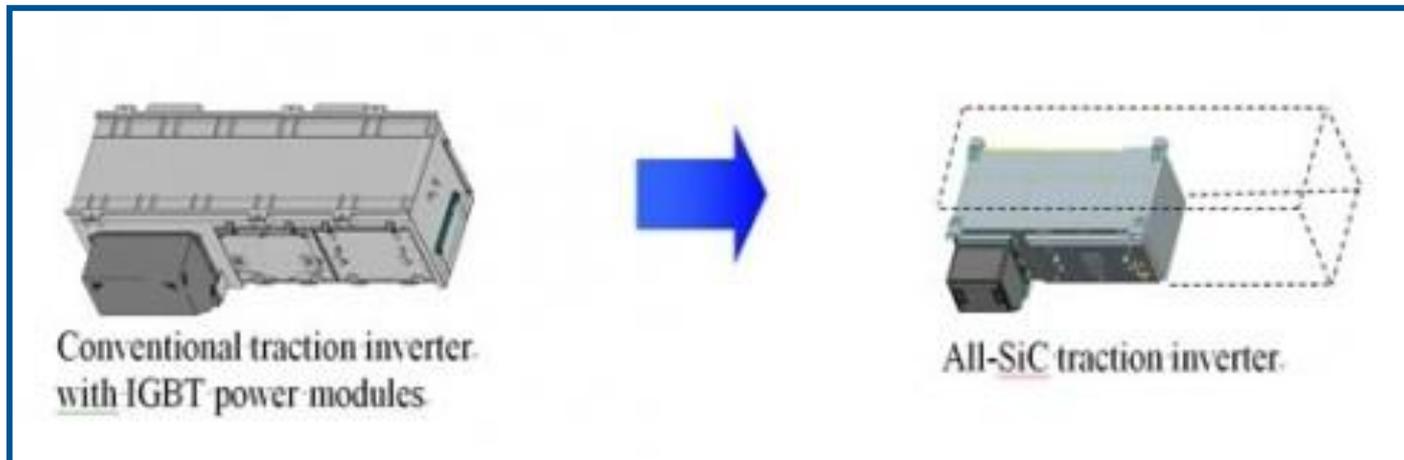
- Высокая теплопроводность (в 3 раза больше чем у кремния)
- Большая ширина запрещенной зоны (т.е. Напряжение лавинного пробоя)

## Прибор

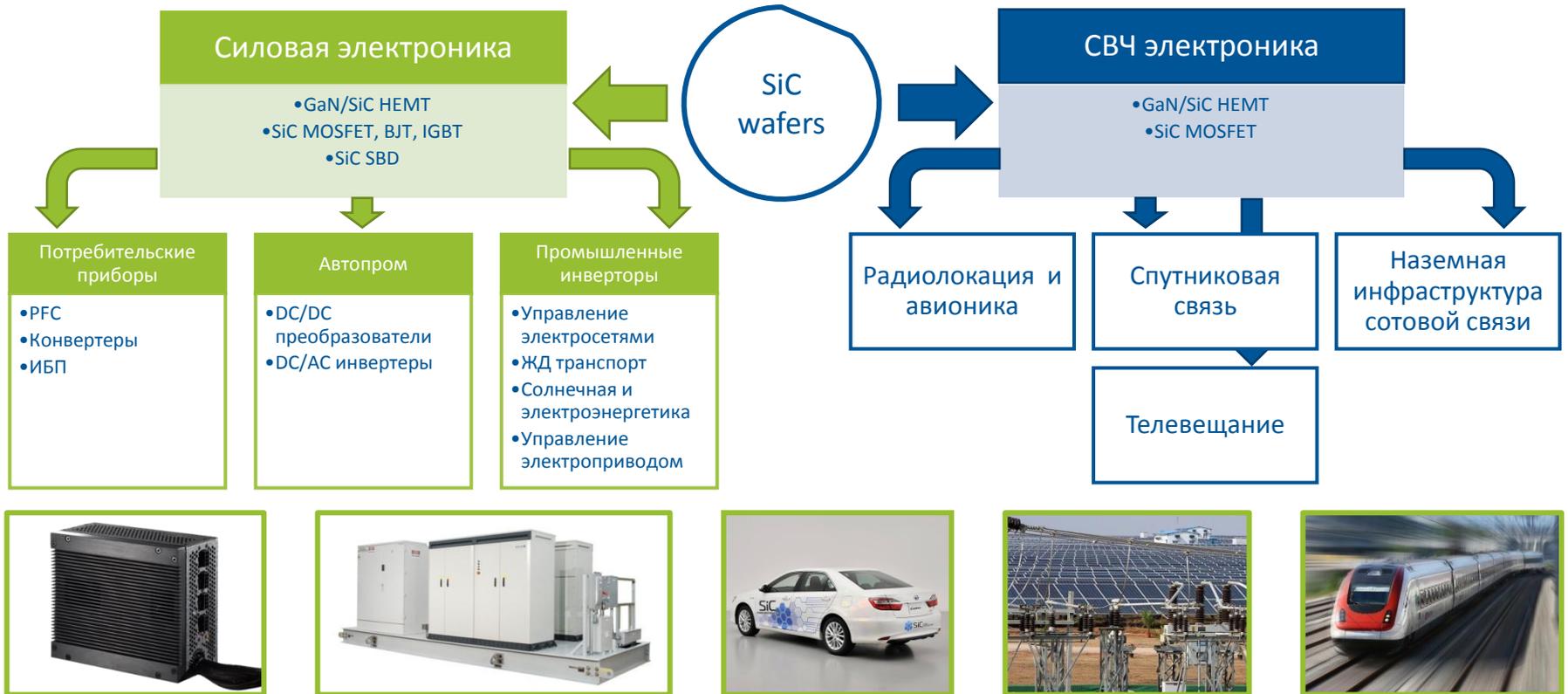
- Высокие плотности тока
- Высокая скорость переключения
- Низкое сопротивление открытого канала

## Система

- Работа при высоком тепловыделении
- Снижение Веса и габаритов
- Снижение потерь при переключении

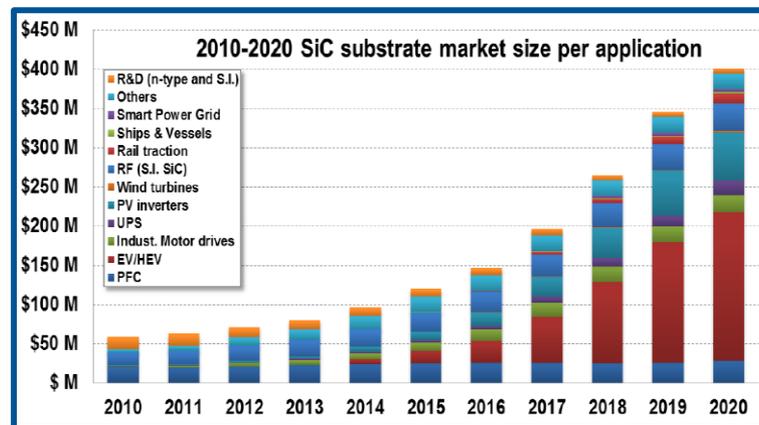


Использование SiC позволяет значительно уменьшить габариты и массу устройства

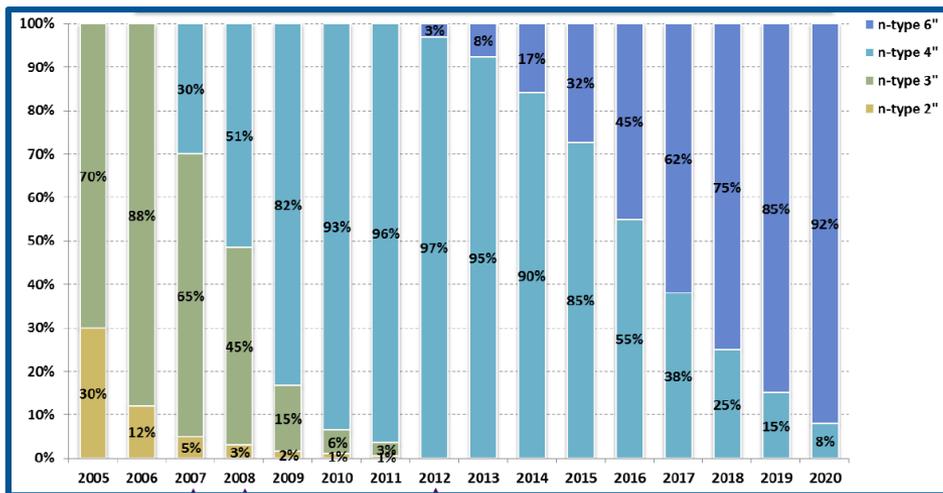


# рынок карбида кремния. сегментация и динамика

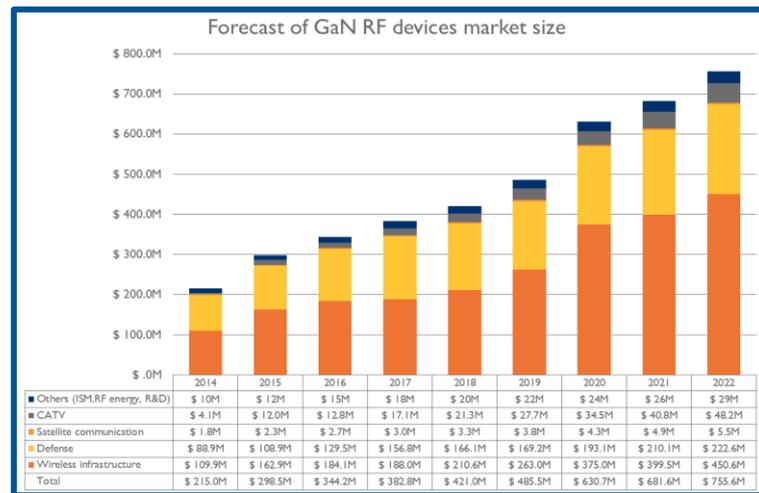
ВПК, авионика	Grumman, HRL, NASA (Glenn Research Center), Thales, AMS, EADS, Ericsson, Matsushita, Hitachi, Mitsubishi Electric
Дискретные СВЧ и силовые приборы	Triquint, Cree, IQE, Infineon, STMicroelectronics, Philips, Dynex, ROHM, Hitachi, Toshiba, Toyota/Denso, Fujitsu/Eudyna, Oki, NEC, New Japan Radio
Промышленность, транспорт	General Electric, Rockwell, Siemens, ABB, Alstom Matsushita Electric, Mitsubishi Electric, Toyota/Denso
Подложки	Dow Corning, Cree, II-VI Inc., ROHM, Norstel, Nippon Steel, SDK, SICC, Tianfu, Dongguang, EpiWorld
Оборудование для роста SiC	Veeco, PVA TePla, LinnHighTherm, Takeuchi, Nippon Sanso

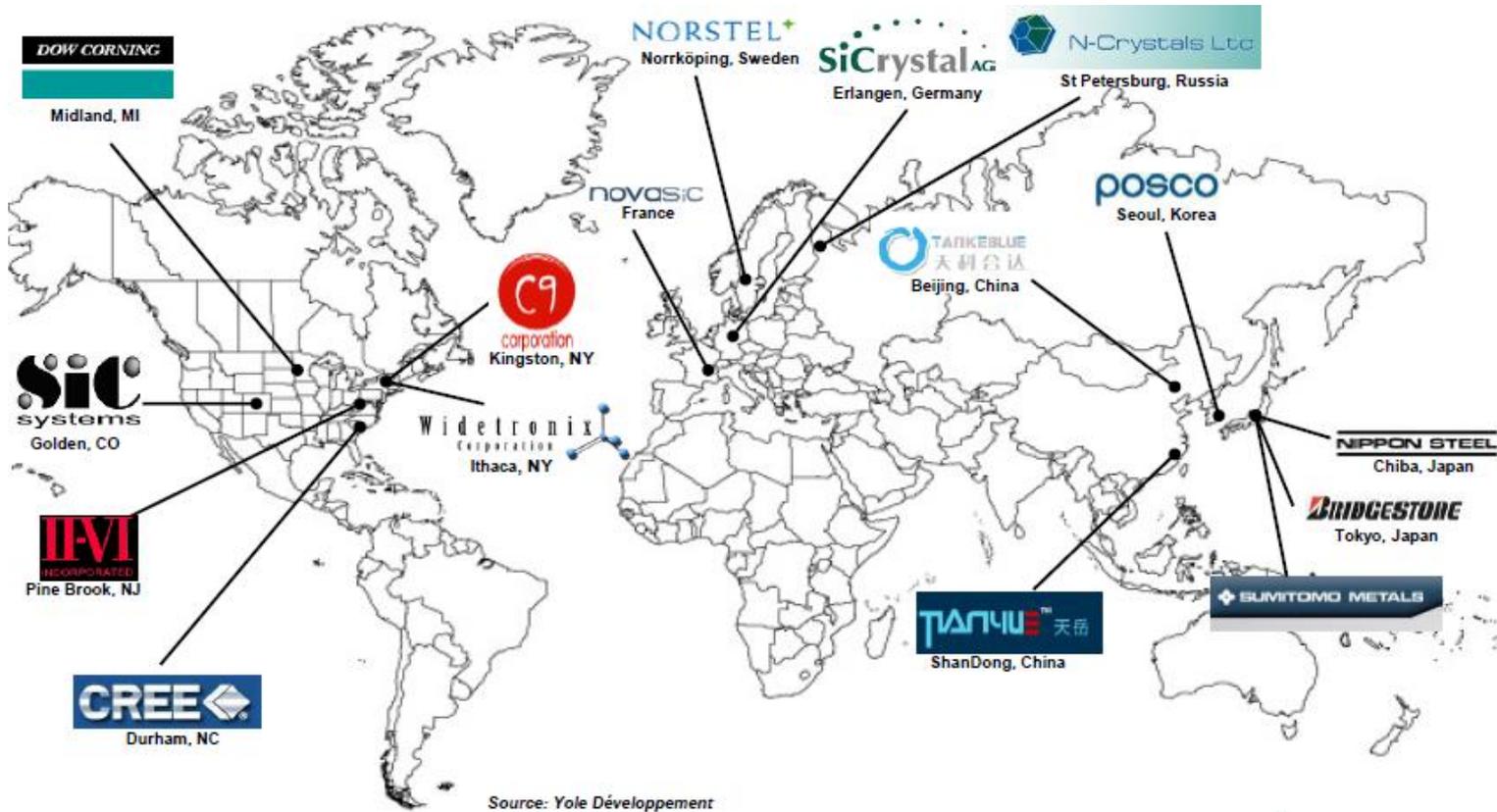


## Подложки диаметром менее 6" вытесняются из оборота



## Рынок ВЧ GaN – ключевой потребитель полупроводниковых подложек SiC





По данным международного маркетингового агентства Yole Development (2011) ГКНК (N-Crystals) является единственным производителем коммерчески доступных подложек SiC в России.

На международных выставках и конференциях ГКНК является единственной российской компанией, предлагающей подложки SiC.

С 2014 г. полуизолирующие подложки SiC диаметром 3 дюйма на российский рынок поставляет ЗАО «Светлана-Электронприбор».



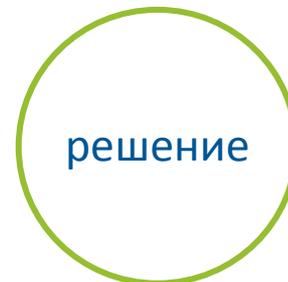
проблема

- В РФ нет производства необходимых для производства СВЧ приборов полуизолирующих подложек SiC, соответствующих по характеристикам (диаметр >100мм, плотность микропор <math><1\text{см}^{-2}</math>) современному мировому уровню
- доступ к продукции ведущих производителей ограничен
- Отсутствует собственное технологическое оборудование для производства таких подложек
- Предлагаемое на рынке оборудование не позволяет производить подложки, сопоставимые с продукцией лидеров рынка



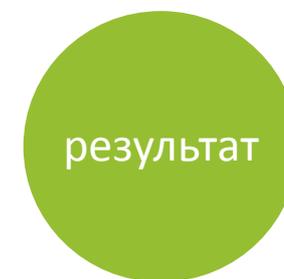
следствие

- Технологическая отсталость в сегменте потребления (производство СВЧ приборов)
- Политические риски непоставок сырья при выпуске продукции военного и двойного назначения
- Низкая производительность (на подложках меньшего диаметра) и высокие издержки из-за импорта сырья



решение

- Разработка собственного технологического оборудования для производства подложек, не уступающих продукции технологических лидеров (установки роста кристаллов)
- Разработка технологии и выпуск полуизолирующих подложек большого диаметра на территории РФ



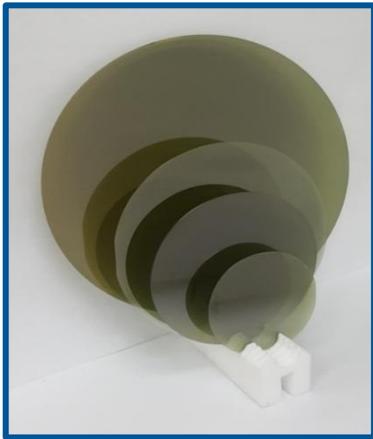
результат

- Технологическая независимость радиоэлектронной промышленности от внешних поставок
- Возможность создания предприятий, обеспечивающих полный цикл производства
- Снижение цен на материалы (подложки) для СВЧ производств на внутреннем рынке
- Налаживание выпуска продукции, востребованной на мировом рынке (установки и полуизолирующие подложки)

# производственный цикл



Коллектив имеет высокие достижения в области разработки технологий, оборудования и создания производства кристаллов SiC для различных областей применения, в том числе для приборов силовой и СВЧ электроники.



Разработана технология роста кристаллов SiC для изготовления подложек 6H диаметром 3 дюйма (проводящие и полуизолирующие)



Разработана технология роста кристаллов SiC для изготовления подложек 4H диаметром 3,4 дюймов **без микропор** на 98 % площади (проводящие)



Производство подложек 4H-SiC диаметром 100 мм. Разработка технологии роста проводящих кристаллов 4H-SiC диаметром 150 мм (получены кристаллы). Разработка технологии роста полуизолирующих кристаллов 100 и 150 мм.

## разработки и коммерциализация. оборудование

Разработана и внедрена в промышленное производство в ЗАО Светлана-Электронприбор технология роста полуизолирующих кристаллов SiC диаметром 3", включая изготовленное оборудование для роста объемных кристаллов (поставлено 2 установки).

Разработаны установки для роста кристаллов диаметром 4-6", используемые в собственном производстве



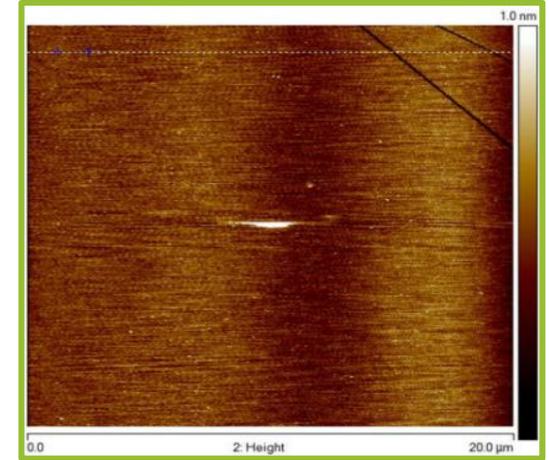
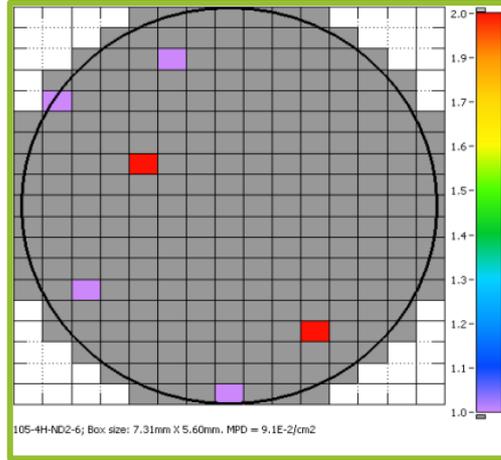
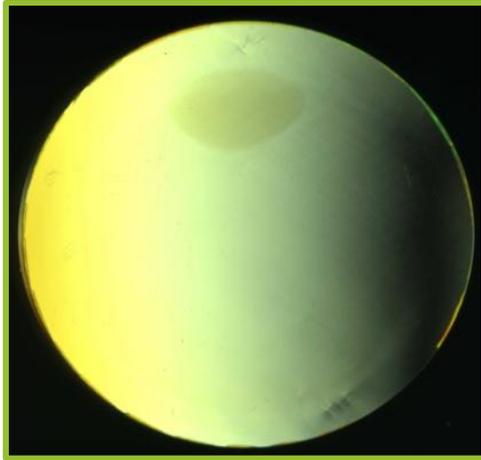
Параметр	Значение
Диаметр, мм	76±1
Толщина, мкм	350±50
Политип	4Н или 6Н
Удельное сопротивление, Ом×см	> 10 <sup>8</sup>
Плотность пор, см <sup>-2</sup>	< 10
Плотность дислокаций, см <sup>-2</sup>	≤ 10 <sup>4</sup>
Ориентация	(0001)
Шероховатость поверхности	5□5
мкм <sup>2</sup> , нм	<10

Разработана технология производства проводящих подложек SiC диаметром до 4" с низкой плотностью микропор. Качество пластин находится на уровне близком к лидерам отрасли

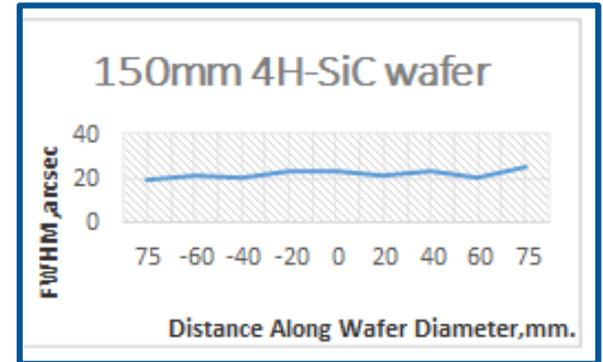
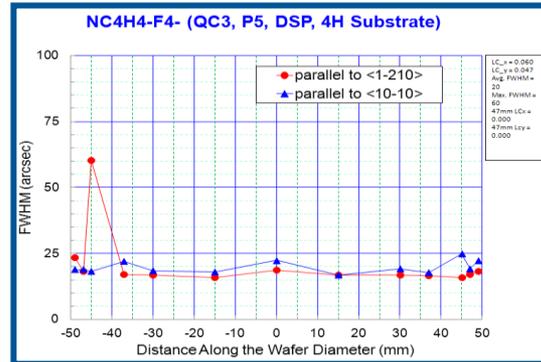
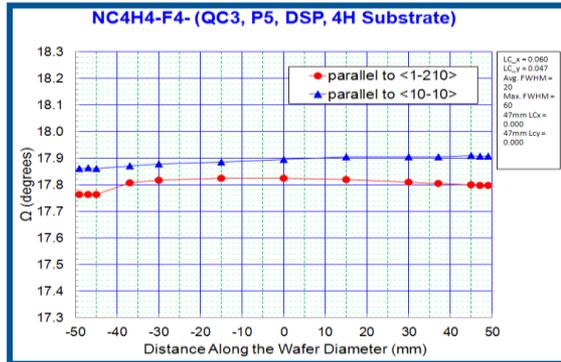
Параметр	Значение
Диаметр, мм	100.0 ± 0.1
Толщина, мм	(0.3-0.45) ± 0.03
Легирующая примесь	Азот (проводимость n-типа)
Плотность микропор, см <sup>2</sup>	< 0.2
Коробление, мкм	< 15
Прогиб, мкм	< 8
Полная кривизна поверхности (TTV), мкм	< 8
Разориентация рабочей поверхности от <0001>	4 ± 0.5°
Обработка рабочей стороны (0001)Si	Готовая для эпитаксии (epi-ready)
Длина базового среза, мм	32.5 ± 1
Ориентация базового среза	<11-20> ± 5°
Длина вспомогательного среза, мм	11 ± 2
Ориентация вспомогательного среза	90 ± 5° по часовой стрелке от базового (со стороны Si)
Удельное сопротивление, Ом×см	≤ 0.03
Упаковка	Поштучная



Малое количество дефектов и высокое качество обработки поверхности



Высокая однородность фазового состава и кристаллического совершенства 100мм и 150мм пластин



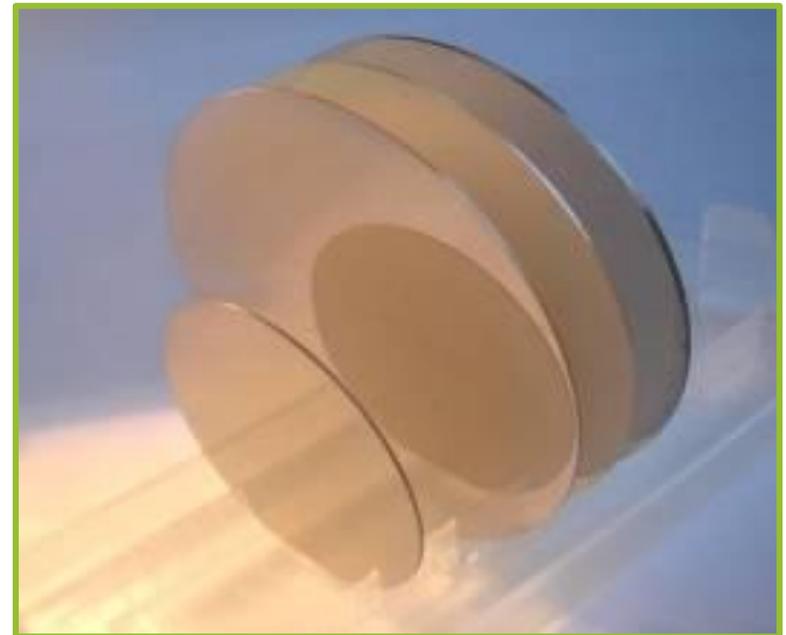
## Возможные потребители

- ОАО ОКБ Планета, г. Великий Новгород;
- АО НПК «Электровыпрямитель», г.Саранск;
- ФТИ им. Иоффе, г. Санкт-Петербург;
- Институт физики твердого тела, г. Черноголовка;
- ООО «Нано Скан Технология», г. Долгопрудный;
- ФГУП РНИИКП, г. Москва;
- НИЯУ МИФИ, г. Москва
- АО «Светлана-Электронприбор» СПб
- АО НПП «ИСТОК», Москва
- АО «Элма-Малахит», Зеленоград
- Концерн ВКО «Алмаз — Антей», СПб

- Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦВНИИЭФ), г. Саров, Нижегородская область;
- Институт реакторных материалов, НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва;
- Sapphire Crystal Technologies Pte Ltd (Сингапур)
- Semiconductor Technology, Ltd. (Китай)

## 150мм 4H-SiC подложки

Наименование характеристики	Значение		
	Градация А	Градация В	Градация С
1 Политип	4H		
2 Диаметр, мм	150 ± 0.5		
3 Толщина, мкм	500±50		
4 Плотность микропор, см <sup>-2</sup> , не более	1	1	5
5 Удельное сопротивление, Ом·см, менее	0,05	0,05	0,05
6 Рабочая поверхность	4° ± 0.25 к плоскости (0001)		



Параметр анализа	Единица измерения	Проектная продукция	CREE, США	II-VI Advanced Materials, США	Norstel, ЕС	TankeBlue, Китай	SICC, Китай
Политип		4H	4H	4H	4H	4H	4H
Диаметр	дюймы	-	-	-	2	-	2
		-	3	3	3	3	3
		-	4	4	4	-	4
		6	6	-	-	-	-
Плотность микропор	(не более) см <sup>2</sup>	-	н/д	-	н/д	-	50
		-	н/д	30	н/д	100±10	10
		-	н/д	10	5	-	5
		1	н/д	-	-	-	-
Удельное сопротивление	(не менее) Ом×см	-	-	-	10 <sup>7</sup>	-	10 <sup>5</sup>
		-	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
		-	10 <sup>5</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup>	-	10 <sup>5</sup>
		10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>	-	-	-	-
Годовой выпуск*	шт.		20 000	н/д	н/д	70 000	20 000
Цена в РФ*	USD	-	-	-	н/д		н/д
		-	н/д	н/д	н/д	н/д	1620
		-	2500	н/д	н/д		2180
		3500	10628	-	-	-	-

Цены на подложки CREE при продажах партий полуизолирующих подложек SiC диаметром 6 дюймов политипа 4H при заказе в РФ (данные компании Prosoft на 2016 г): при заказе 1-4 шт. – **10 628 USD** за шт. с учетом НДС

\* Из неофициальных источников