

Инвестиционный меморандум

Проект опытного завода по выпуску тонкоплёночных “GaN-on-GaN” источников белого света.

Генеральный директор ЗАО «ТРИНИТРИ»

Шретер Юрий Георгиевич

доктор физико-математических наук, профессор



2020

Оглавление:

	Стр.
Глоссарий.	3
1.Резюме Проекта.	4
1.1. Введение	4
1.2. Стоимость Проекта	5
1.3. Эффективность реализации проекта.	5
1.4. Выручка от реализации продукции (товаров, услуг) с разбивкой по годам в тыс. руб.;	6
1.5. Прогнозируемые налоговые отчисления в тыс. руб.	6
2.Информация о компании-инициаторе Проекта	7
3. Наличие опыта производства данной продукции.	8
4. Подходы и достигнутые результаты	12
5. Продукт (изделие)	16
6. Рынок GaN светодиодов.	16
7. Описание потребителей нового товара (рыночная ниша).	18
8. Оценка конкурентов.	18
9. Планирование и сметная стоимость работ по Проекту	20
10. Финансовый план	21
11. Анализ основных видов рисков.	22
12. Распределение долей и выход инвестора из проекта.	27
13. Список Приложений	27
Приложение 1. Технологический задел компании «ТРИНИТРИ»	28
Приложение 2. Производство. Расчет рентабельности	36
Приложение 2. Рынок GaN светодиодов	42-48

Глоссарий

СТ	Cloning Technology, технология клонирования – многократного использования материнской подложки нитрида галлия
HVPE	Hydride Vapor Phase Epitaxy, хлорид-гидридная газофазная эпитаксия – метод осаждения полупроводниковых кристаллов из газовой фазы («выращивания») с использованием хлоридов металлов и аммиака
GaN	Нитрид галлия, широкозонный полупроводник, основа современной и будущей электроники, которая заменит кремниевую электронику
“GaN-on-GaN” технологическая платформа	Технология производства тонкопленочных GaN приборов на GaN подложке (или гомоэпитаксиальная технология), при которой возможно достичь наилучших рабочих параметров приборов
Лазер	Устройство для излучения света большой яркости, бывает с постоянным и импульсным режимом работы
LSS	Laser Stealth Slicing, технология получения тонкой плёнки при которой плёнка срезается с поверхности кристалла лазерным лучом, сфокусированным под поверхность этого кристалла
MOCVD	Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, эпитаксия из металл-органических соединений – основной промышленный метод осаждения полупроводниковых кристаллов из газовой фазы для производства электронных приборов
Материнская подложка	Практически бездефектная Подложка, с низкой плотностью дислокаций (менее 10^4 см ⁻²). Поверхность подложек должна быть атомно-гладкой с шероховатостью $\sim 3 \times 10^{-8}$ см (т.н. полировка epi-ready – полировка, позволяющая выращивать эпитаксиальные структуры).
Подложка	Круглая кристаллическая полированная пластина диаметром 50 мм (2 дюйма), 150 мм (4 дюйма) или 200 мм (6 дюймов) и толщиной 400 микрон, на которую наносят тонкопленочные GaN приборные структуры эпитаксиальными методами
Прибор	Если чипы упаковать, т.е. поместить в некий корпус (корпусировать), то получим прибор; в случае вхождения прибора в состав микросборки упаковка не нужна
Светодиод	Полупроводниковый прибор, который под действием внешнего приложенного напряжения способен излучать свет в определенном спектральном диапазоне
СВЧ транзистор	Сверхвысокочастотный транзистор, работающий на частотах 1 ГГц и выше
Структура	Это подложки, на которых методами химического осаждения созданы тонкие эпитаксиальные слои толщиной 1-2 микрона
Чип	Микроэлектронное устройство — структура, изготовленная на полупроводниковой подложке, на которой с помощью фото и/или электронной литографии создали рисунок схемы, нанесли контакты и разрежали на кусочки (чипы) размером от 350x350 микрон до нескольких квадратных миллиметров

1. Резюме Проекта

1.1. Введение

Целью Проекта является организация мелкосерийного/опытного производства мощных полупроводниковых источников белого света на основе чипов большого размера 1 см x 1 см и более, для освещения теплиц, ферм, уличного освещения в городах Севера и тп.

Для увеличения светового потока компании, с 2000 года и до настоящего времени, стремятся увеличить площадь чипа (светоизлучаемой площади). Стартовали с чипов размером в микронах: 50 x 50, затем 300 x 300, далее: 1 мм x 1 мм, и, наконец, 5 мм x 5 мм. Чипы большего размера можно реализовать только на тонких плёнках со светодиодной структурой и на однородных, чистых кристаллах, поскольку требуется пропустить через структуру большой ток в 30-50 Ампер и отвести более 100 ватт тепла.

Для реализации этой цели будут использованы наши R&D разработки последних 18 лет, а именно:

1. оптимизированы светодиодная структура для возбуждения люминофора со спектром, близким к спектру света Солнца;
2. использована технология “GaN-on-GaN”, которая позволяет получать структуры с низкой плотностью дислокаций и малой концентрацией примесей, и осуществлять вертикальную накачку тонких плёнок большой площади (1 см² и более);
3. использована наша патентованная технология срезания плёнок толщиной от 3 до 50 микрон и диаметром до 100 мм (4 дюйма), лучом фемтосекундного лазера,;
4. использована технология срезания тонкой плёнки с полупроводниковой структурой;
5. использована концепция «клонирования» подложки или «бесподложечная» технология “GaN-on-GaN”, когда тонкая плёнка GaN, толщиной 3-5 микрон, со светодиодной структурой, срезается по всей площади пластины объёмного GaN, и после разрезания на чипы (dicing) переносится в корпус, а оставшаяся часть объёмного GaN переносится на полировку и далее по кругу, смотри Рис.1, стр. 16,

Перечисленные разработки, составляют основу новой технологической платформы для производства ЭКБ полупроводниковых приборов на основе АЗВ5 (GaN, InN и AlN), также SiC и алмаза.

В результате, сочетание высокого светового потока изделий, с относительно невысокой ценой, (тонкие плёнки 3-5 микрон, вместо подложек толщиной 400 микрон; отсутствие

фотолитографии в пост-росте и благодаря новой технологической платформе) изделиям обеспечен широкий спрос на отечественном и зарубежном рынках для освещения улиц, площадей, рыбных комплексов, помещений и территорий животноводческих ферм, ферм для выращивания птиц и автономным масштабируемым закрытых тепличных комплексов применяемых в районах Арктики, Крайнего севера и районах с неустойчивым и засушливым климатом.

Компания, ведущая Проект : АО «ТРИНИТРИ», действующая на территории г. Санкт - Петербурга.

Изделие: мощные твердотельные источники света на основе светодиодная плёнка, большой площади 1- 10 см² , представляет собой электролюминесцентный прибор, изготовленный из полупроводникового нитрида галлия (GaN). Для производства изделий будет использоваться передовая “GaN-on-GaN” технология, т.е. будет использоваться гомоэпитаксиальный процесс выращивания GaN-приборных структур на естественной GaN-подложке, что позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики и срок службы изделий.

1.2.Стоимость Проекта

Стоимость Проекта составляет 1 977 000 000 руб.

Срок реализации проекта: 2021-2023 год.

Распределение долей прибыли от деятельности Компании - 25/75%

Из них 25% инвестору, 75% компании-инициатору Проекта.

Срок окупаемости – 5 лет.

Планируемые источники финансирования проекта (в рублях, процентах) - привлеченные инвестиции – 100% - 1 977 000 000 руб.

Характер строительства - новое строительство.

1.3.Эффективность реализации проекта.

Предлагаемые нами технологии позволяют выпускать полупроводниковые источники света с высокими потребительскими качествами. Например, для источника света с площадью 1 см² световой поток составит 20 000 люмен, энергетическая эффективность 200 люмен / ватт и долговечность - 50 лет. При этом себестоимость изделий относительно невысокая, за счет инновационной технологии. После выхода на планируемую производственную мощность опытный завод сможет выпускать до 7000 единиц продукции в месяц. При

необходимости производство легко масштабировать в течение короткого промежутка времени, что даст прирост выпускаемых изделий на 40% на этих же площадях.

Почему мы предлагаем начать с опытного производства? Следует отметить, что завод массового производства любого полупроводникового прибора стоит не менее 1-2 млрд долларов США. Опытный завод будет стоить около 2 млрд.рублей - в 80 раз дешевле, при курсе рубля 1 доллар =80 рублей. В России до сих пор нет производства чипов на основе GaN, хотя попытки были - «Оптоган» и «Светлана Оптоэлектроник». Причины просты - они пытались догнать мощные корпорации с миллиардными инвестициями не имея новых прорывных идей и мощных инвестиций. Мы, работая с тайваньцами над проектом завода по производству светодиодов на сапфировых подложках, поняли, что нам на этом пути их не догнать. Поэтому мы решили вначале разработать собственное технологическое оборудование, вырастили подложки GaN, прошли R&D стадии каждого технологического шага и теперь мы готовы к организации опытного завода для производства мощных светодиодных структур и излучателей.

1.4.Выручка от реализации продукции (товаров, услуг) с разбивкой по годам в тыс. руб.

2021 – 0

2022 – 1 466 666 667

2023 – 2 800 000 000

2024 – 2 800 000 000

2025 – 2 800 000 000

- валовая прибыль с разбивкой по годам, в тыс. руб.;

2021 – 0

2022 – 1 283 333 333

2023 – 2 450 000 000

2024 – 2 450 000 000

2025 – 2 450 000 000

- планируемые сроки окупаемости Проекта РВР – 35 месяцев (13 месяцев, с момента выхода Завода на полную мощность.)

- чистый дисконтированный доход (NPV) 1 816772 тыс. руб.;

- внутренняя норма доходности (IRR) 56%;

Средняя рентабельность:

- продаж – 41,45%;

- собственного капитала – 29,04%;

- оборотных активов – 40,22%;

- инвестиций – 22,31%.

1.5 Прогнозируемые налоговые поступления в тыс. руб.

(см. Приложение 3 «Экономика Проекта»)

2. Информация о компании-инициаторе Проекта

Наименование юридического лица - «ТРИНИТРИ».

Организационно-правовая форма – Акционерное общество.

Имена и адреса учредителей

Шретер Юрий Георгиевич Санкт-Петербург, ул.Жака Дюкло, д.12, кв.61,

Мионов Алексей Владимирович Санкт-Петербург, пр-т Мориса Тореза, д.13, кв.60.

Дата регистрации претендента – 01.03.2006.

Номер регистрационного свидетельства - ОГРН 1067847402204.

Наименование органа, зарегистрировавшего претендента -

Межрайонная инспекция Федеральной налоговой службы №15 по Санкт-Петербургу

ИНН/КПП: 7810053765/ 781401001

ОКВЭД: 72.1 Научные исследования и разработки в

области естественных и технических наук

ОКАТО: 40270000000 - Приморский

ОКФС: 16 - Частная собственность

ОКОПФ: 12267 - Непубличные акционерные общества

ОКПО: 79797680

Место государственной регистрации и почтовый адрес претендента.

Юридический адрес: 197183 Россия, Санкт-Петербург, Липовая аллея д. 9А, 11Н

Инициатор и руководитель Проекта

- Генеральный директор Шретер Юрий Георгиевич

По вопросам участия в инвестиционном проекте:

E-mail: partnership@teslar.site

www.teslar.site

3. Наличие опыта в данной области.

Основу компании составляет группа научных сотрудников ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), которая в течение последних 18 лет работала над технологией химических реакторов, подложек и приборов из нитрида галлия (GaN), вначале в Международном исследовательском институте АРИМА (СПб, Россия), совместно с фирмой АРИМА (Тайвань) и Университетом г. Бат (Англия), а затем в компании АО «ТРИНИТРИ» (СПб, Россия). Основными направлениями деятельности компании в тот период являлись:

- Светоизлучающие приборы на основе нитрида галлия. В рамках данного направления были проведены теоретические и экспериментальные исследования светодиодов на базе нитрида галлия, предложена и внедрена на заводах фирмы АРИМА оптимизированная оригинальная светодиодная структура CART-LED на сапфировых подложках (получено 25 патентов). Также проведено теоретическое моделирование и успешная экспериментальная реализация совместно с Университетом города Бат (Англия) полупроводникового голубого лазера на базе нитрида галлия
- Разработка химических реакторов HVPE и технологии роста слоев нитрида галлия методом HVPE, включающая в себя полный цикл работ, начиная от компьютерного моделирования физико-химических процессов в реакторах, инженерного компьютерного проектирования конструкции реакторов и заканчивая созданием технологических рецептов роста кристаллов в созданных реакторах. В результате были созданы ростовые HVPE машины трёх поколений и с их помощью получены как подложки толщиной 400 микрон, так и объемные кристаллы GaN толщиной 5 мм и диаметром 2 дюйма.

В 2006 году мы организовали чисто российскую компанию без иностранного участия - компанию АО «ТРИНИТРИ», и продолжили разрабатывать новые методы получения GaN подложек. Также был спроектирован и реализован ряд новых приборов на основе GaN – светодиоды, лазеры, силовые Шоттки диоды. Директором компании стал профессор Ю.Г.Шретер, который занимал должность зам. ген. директора по науке в Международном исследовательском институте АРИМА с 1998 по 2006 г. Общее число работающих сегодня - 15 человек, из них 1 доктор физ.-мат. наук, 5 кандидатов физ.-мат. наук, 5 аспирантов, 3

инженера и 1 техник. Большинство сотрудников имеют опыт работы за рубежом в научных центрах и университетах США, Англии, Германии и Франции.

Директор компании АО «ТРИНИТРИ», доктор физ.-мат. наук, профессор Ю. Г. Шретер является:

Главным научным сотрудником ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН,

Почетным Гаусс-профессором Геттингенской Академии наук, Германия,

Почётным членом Optical Society of America (OSA),

Членом American Chemical Society (ACS)

Имеет более 35 патентов и более 100 статей. Опубликовано, в соавторстве, 4 книги по тематике проекта.

Основные патенты:

- Chemical vapor deposition reactor Publication info: TW260349B - 2006-08-21
- Light emitting diode with diffraction lattice Publication info: US2007057266 - 2007-03-15
- Light emitting semiconductor device Publication info: TW258228B - 2006-07-11
- Chemical vapor deposition reactor Publication info: US2006288933 - 2006-12-28
- Light emitting semiconductor device Publication info: US2006278880 - 2006-12-14
- LED with a colour purifying diffraction lattice Publication info: GB2417825 - 2006-03-08
- Package structure of high power LEDs Publication info: TW250498Y - 2004-11-11
- Chemical vapor deposition reactor Publication info: US2004129213 - 2004-07-08
- LED assembling structure Publication info: TW559339Y - 2003-10-21
- Semiconductor laser with lateral light confinement by polygonal surface optical grating resonator Publication info: TW550868B - 2003-09-01
- VCSEL Publication info: GB2387024 - 2003-10-01
- Vertical cavity surface emitting semiconductor laser with triangle prism optical cavity resonator Publication info: US2004217381 - 2004-11-04

- Semiconductor laser based on matrix, array or single triangle optical cavity with spatially distributed current injection Publication info: US2003123509 - 2003-07-03
- Semiconductor laser diodes Publication info: GB2384617 - 2003-07-30
- Light emitting diodes with asymmetric resonance tunneling Publication info: TW529183B - 2003-04-21
- Isoelectronic co-doping method Publication info: TW477011B - 2002-02-21
- A method of epitaxially growing a semiconductor on a highly lattice mismatched substrate
Publication info: TW475208B - 2002-02-01
- Method of epitaxially growing a GaN semiconductor layer Publication info: US6380050 2002-04-30
- Unipolar light emitting devices based on III-nitride semiconductor superlattices
- Publication info: US6455870 - 2002-09-24
- Light emitting diodes with asymmetric resonance tunneling Publication info: US6614060 2003-09-02
- Light emitting diode with single asymmetric quantum well Publication info: GB2361354 2001-10-17
- Light emitting devices with riddled barriers for electrons and holes Publication info:
- GB2359190 - 2001-08-15
- Growing semiconductor layers Publication info: GB2350721 - 2000-12-06
- Light emitting diode wherein asymmetric resonance tunneling effect is used.
Japan Publication number: 2000-357819
- Date of publication of application: 26.12.2000
- 25. Manufacture of epitaxial growth semiconductor. Japan Publication number: 2001-068414
- Date of publication of application: 16.03.2001 «Способ отделения поверхностного слоя полупроводникового кристалла», Шретер Ю. Г., Ребане Ю. Т., Миронов А. В., Патент RU 2010148544 А (2012).
- «Method Of Laser Separation Of The Epitaxial Film Or Of The Epitaxial Film Layer From The Growth Substrate Of The Epitaxial Semiconductor Structure»,

Shreter Yu. G., Rebane Yu. T., Mironov A. V., EP 2732461 A1 (2014).

- «Method Of Laser Separation Of The Epitaxial Film Or Of The Epitaxial Film Layer From The Growth Substrate Of The Epitaxial Semiconductor Structure», Shreter Yu. G., Rebane Yu. T., Mironov A. V., CN 103703552 A (2014).
- «Method Of Separating Surface Layer Of Semiconductor Crystal Using A Laser Beam Perpendicular To The Separating Plane», Shreter Yu. G., Rebane Yu. T., Mironov A. V., WO 2012/074439 A4 (2013).

4. Подходы и достигнутые результаты

(Подробности о технологическом заделе компании «ТРИНИТРИ» можно найти в Приложении 1.)

Нитрид галлия (и его сплавы с алюминием и индием) - новый перспективный класс полупроводниковых материалов.

Основная проблема при работе с широкозонными материалами - высокая цена гомоэпитаксиальных подложек GaN (несколько тысяч долларов за одну подложку GaN диаметром 50мм и толщиной 0,4мм). Поэтому, чтобы не допустить рост себестоимости готовых приборов на основе GaN на 1-2 порядка, мировые компании-производители используют компромиссные технологии производства GaN приборов на основе дешевых и доступных традиционных подложек из кремния и сапфира, что естественно приводит к падению качества приборов и не дает в полной мере использовать потенциал GaN.

В РФ отсутствует промышленное производство GaN приборов на основе нитрида галлия, в том числе светодиодов.

Компания «ТРИНИТРИ» разработала в 2006-2020 гг. технологию «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов из GaN (применимую также для AlN, SiC и алмаза), путём срезания тонкой плёнки приборной структуры импульсным лазером, с фемтосекундной длительностью импульса, и переноса её в корпус (рис.1). Данная технология радикально уменьшает себестоимость производства полупроводниковых приборов из GaN и при этом существенно повышает их эксплуатационные характеристики. Разработанная технология запатентована и не имеет аналогов.

Более общая цель данного проекта: Создать недорогое опытное производство приборов по новой сквозной технологии по которой могут изготавливаться не только светодиоды, лазеры, генерирующие свет: зелёный, голубой и ультрафиолетовый, но и СВЧ-транзисторы, силовые и RF-приборы. Следует отметить, что прозрачность подложки GaN позволяет осуществлять оптическую связь между структурами на кристалле - открывается новое направление радиофотоники.

Наше решение: материнская подложка GaN, произведенная компанией «ТРИНИТРИ», или купленная на рынке, толщиной 400-500 микрон с двухсторонней полировкой

используется для эпитаксиального роста приборной структуры. Для этого, вначале наносится с одной стороны нескольких тончайших (приборных) слоёв методом MOCVD. Затем следуют пост-ростовые операции: нанесение металлических или диэлектрических слоёв, контактов.

Далее, с тыльной стороны подложки, импульсным лазером (с фемтосекундной длительностью импульса) срезается готовая полупроводниковая структура, толщиной несколько микрометров, которая затем переносится на хорошо проводящую тепло дешёвую подложку. Материнская подложка в этом технологическом процессе не расходуется, а используется только информация о её кристаллической структуре. Срезанные с материнской подложки слои микронной толщины с приборной структурой восстанавливаются при каждом новом нанесении приборных слоёв. Процесс размножения приборных структур мы назвали технологией клонирования или «бесподложечной» или «одноподложечной» технологией, поскольку **дорогостоящие материнские подложки не расходуются.**

Итак, на «**Входе**» технологической линейки требуются только газы для реакторов Типа MOCVD или MBE, а на «**Выходе**» - готовые приборы. Нет необходимости массово производить дорогие материнские подложки, достаточно осуществлять разовые ограниченные закупки за рубежом или следующем шагом наладить своё опытное производство бесдислокационных, высокоомных материнских подложек (см. Приложение 1).

Переход на новую технологию осуществляется включением в технологическую цепочку только одного нового звена - Лазерного отделения/слайсинга тонкой плёнки, Рис.1. Этот метод разработан и запатентован нами в 2010 году.

Остальные техпроцессы хорошо известны в промышленности и могут быть закуплены.

Технология защищена рядом наших Патентов , основной из них:

“Method of Separating Surface Layer of Semiconductor Crystal Using a Laser

Beam Perpendicular to the Separating Plane“, приоритет **20 ноября 2010:**

RU 2010148544

EP 2646194B1

WO 2012074439A2

US 20130248500A1

CN 103459082B

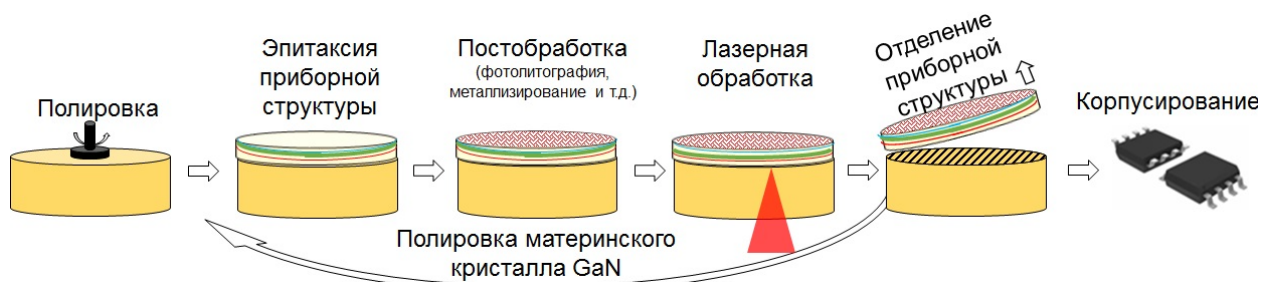


Рис.1 Схема этапов технологии «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов.

Технологический задел: оборудование для лазерного отделения

Разработана и изготовлена опытная установка для лазерного отделения тонких (5-10 мкм) слоёв GaN (см. рис. 2)

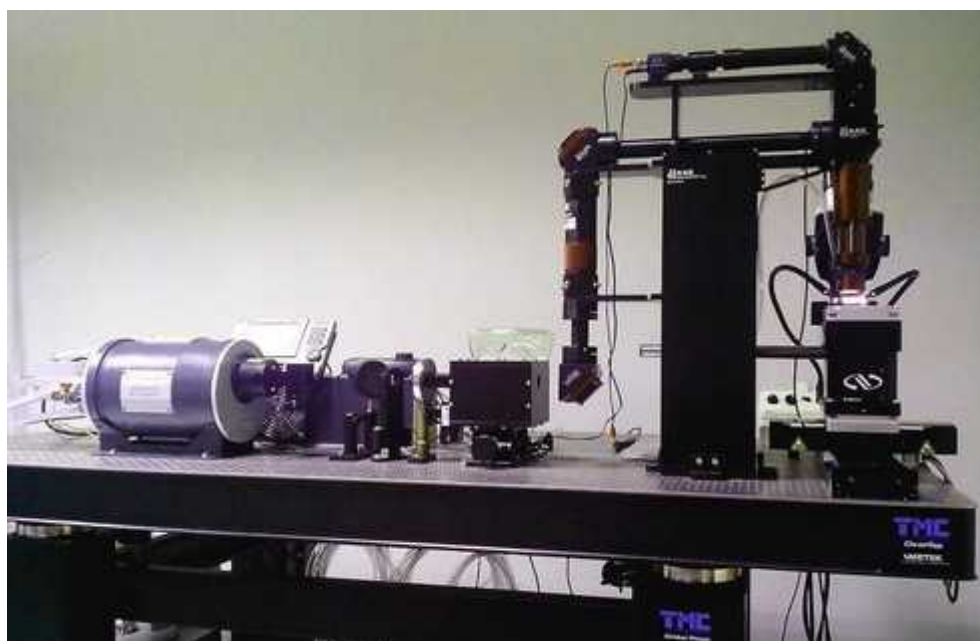


Рис.2. Опытная установка для лазерного отделения тонких (3-10 мкм) слоёв GaN.

Данная технология успешно продемонстрирована компанией «ТРИНИТРИ» на примере светодиодной структуры (рис. 3).

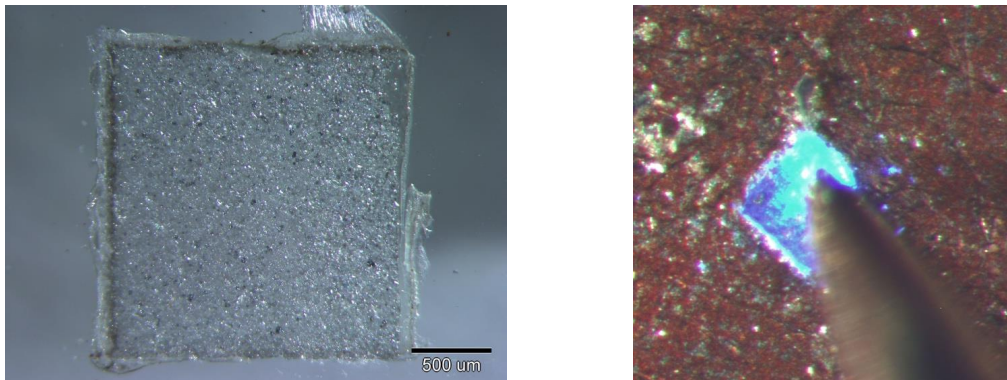


Рис.3. Тонкие слои микронной толщины со светодиодной структурой, отделённые от подложки объёмного GaN по технологии LSS (слева) Вид светящейся светодиодной структуры, отделенной с помощью LSS и перенесённой на медный теплоотвод (справа).

Продемонстрировано, что светодиодная структура после отделения от подложки обладает светоизлучающими свойствами, аналогичными структуре на исходной подложке.

Помимо создания технологии «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов компания «ТРИНИТРИ» имеет большой опыт в области синтеза материнских подложек нитрида галлия. Собственное производство качественных подложек нитрида галлия может быть необходимо в случае: запрета ввоза подложек из-за рубежа в связи с введенными санкциями, а также для снижения затрат на производство изделий, поскольку затраты на подложку нитрида галлия – основная статья в структуре себестоимости изделия, изготовленного по “GaN-on-GaN” технологии (подробности о технологическом заделе компании «ТРИНИТРИ» можно найти в Приложении 1 и на сайте компании).

5. Продукт (изделие)

Результатом реализации Проекта: является организация бизнеса по серийному производству и сбыту мощных полупроводниковых источников света: светодиодных плёнок на металлической пластине по передовой технологической платформе. Целью Проекта является сочетание высочайшего качества изделий, благодаря “GaN-on-GaN” технологической платформе, с относительно невысокой ценой, что обеспечивается нашей инновационной технологией клонирования изделий («бесподложечное» производство полупроводниковых приборов).

Изделие: мощный твердотельный источник света - светодиодная пластина, представляет собой мощный электролюминесцентный полупроводниковый прибор большой площади 10 мм x 10 мм, или более, изготовленный из полупроводникового нитрида галлия (GaN), толщиной 3-10 микрон. Изделие названо пластиной, а не чипом, поскольку превосходит по размерам все известные чипы (даже биг-чипы). Для производства изделий будет использоваться передовая “GaN-on-GaN” технология, т.е. будет использоваться гомо-эпитаксиальный процесс выращивания GaN-приборных структур на естественной GaN-подложке, что позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики и срок службы изделий.

Технологическая схема производства изделия – коммерческая (в перспективе произведенная компанией «ТРИНИТРИ») подложка нитрида галлия, толщиной 400-500 микрон с двух сторонней полировкой используется для эпитаксиального роста приборной структуры (это нанесение нескольких тончайших слоёв приборной структуры методом MOCVD). Затем следуют пост-ростовые операции: нанесение металлических или диэлектрических слоёв, контактов. Далее импульсным лазером (с фемтосекундной длительностью импульса) срезается готовая полупроводниковая структура, толщиной несколько микрометров, которая затем переносится на хорошо проводящую тепло дешёвую подложку. Материнская подложка нитрида галлия в этом технологическом процессе не расходуется, а используется только информация о её совершенной кристаллической структуре. Срезанные с материнской подложки слои толщиной несколько микрометров восстанавливаются заново при каждом новом нанесении приборных слоёв. Процесс размножения приборных структур мы назвали технологией клонирования или бесподложечной или одноподложечной технологией, поскольку

дорогие материнские подложки не расходуются.

На «**Входе**» технологической линейки требуются только газы для MOCVD реакторов, а на «**Выходе**» - готовые приборы. Нет необходимости массово производить дорогие материнские подложки, достаточно осуществлять разовые ограниченные закупки за рубежом или в будущем наладить мелкосерийное производство материнских подложек (см. Приложение 1).

Переход на новую технологию осуществляется включением в технологическую цепочку только одного нового звена - Лазерного отделения/слайсинга тонкой плёнки, рис.2. Этот метод разработан и запатентован нами в 2010 году. Остальные послеростовые техпроцессы хорошо известны в промышленности и могут быть закуплены.

Пока инвестиционный интерес обозначили шведская компания «EpiLuvac» и китайская «Huawei», которые сообщили о готовности с нами организовать Европейский технологический центр.

Планируемые параметры изделия:

- Площадь изделия – от 1 кв.см до 10 кв. см
- Электрическая мощность – 100 Вт до 1000 Вт
- Световой поток – 20 000 люмен до 100 000 Люмен
(при охлаждении типа «Heat Pipe» - тепловая труба с пористым титаном).
- Спектр излучения – оптимизирован для эффективного преобразования света, излучаемого светодиодом, в свет близкий к солнечному спектру. Индексы цветопередачи CRI, CQS, TM-30-50 - будут близки к 90. **Солнечный свет: CRI = 100.**

6. Рынок GaN светодиодов

(Особенности рынка светодиодов можно найти в Приложении 2.)

Мировой рынок осветительных GaN светодиодов на протяжении последних 10 лет испытывает стабильный рост в 4-5% в год и составляет порядка 6 млрд .дол. Хотя в РФ светодиодные чипы не производятся, рынок осветительных приборов на основе импортируемых светодиодов (в основном из КНР) развивается примерно такими же темпами, как и мировой, после падения в 2014-2015 гг.

Учитывая особенности географического положения РФ (значительной доли приполярных территории с низкой среднегодовой солнечной освещенностью), а также курс руководства большинства стран на энергосбережение и усилия по снижению выбросов в атмосферу, объем будущего рынка светильников солнечного спектра многократно превышает объем данного проекта и является основой для его будущего развития.

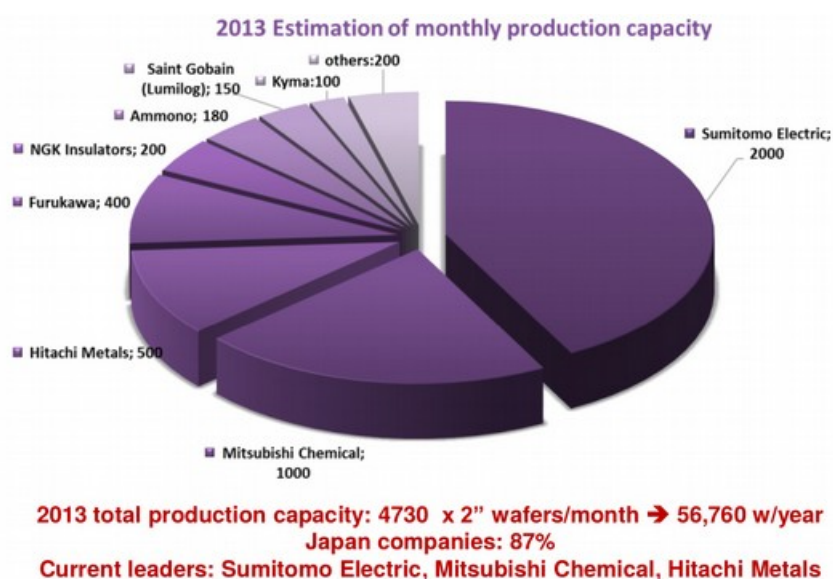
7. Описание потребителей нового товара (рыночная ниша)

Потребителями нашего нового товара являются компании – производители современных осветительных приборов на базе светодиодов, прежде всего **дефицитных светильников солнечного спектра** с высокими потребительскими качествами, такими как мощность, энергетическая эффективность и долговечность для освещения мест индивидуального и общего пользования, рыб комплексов УЗВ, помещений и территорий животноводческих ферм, ферм для выращивания птиц и автономным масштабируемых закрытых тепличных комплексов применяемых в районах Арктики, крайнего севера и районах с неустойчивым и засушливым климатом.

8. Оценка конкурентов

Современная светодиодная индустрия представляет собой пирамиду, на вершине которой всего несколько фирм-гигантов, которые занимаются самым сложным и затратным делом - выращиванием приборных структур на подложке. Это прежде всего американская Cree и японская Nichia - мировые лидеры в промышленной эпитаксии, а также Epistar (Тайвань), Osram OptoSemiconductor (Германия) и Samsung (Ю.Корея). Эти компании в своем производстве светодиодов используют доступные подложки сапфира и кремния, что обеспечивает низкую цену светодиодов, но, как сказано выше, в ущерб качеству конечных изделий. Именно поэтому «вечные» светодиодные лампы, как все мы знаем из собственного опыта, довольно быстро выходят из строя. Отметим, что компания «Cree» использует более дорогие подложки карбида кремния для выращивания структур GaN-светодиодов - технология «GaN-on-SiC» и такие светодиоды более надёжны, но и в 4-5 раз дороже приборов на сапфире.

Что касается “GaN-on-GaN” технологической платформы, то, несмотря на ее неоспоримые преимущества, GaN-on-GaN светодиоды в мире не выпускаются в значительных объемах из-за отсутствия доступных по цене и количеству подложек нитрида галлия (исключением является компания Sogaа, США, которая производит супер GaN-on-GaN светодиоды на собственных GaN подложках (<https://www.soraa.com>)). Технологией серийного производства подложек GaN в мире владеет ограниченное число компаний (см. рисунок ниже). Подавляющее большинство подложек производится в Японии. Менее качественные подложки в настоящее время производится в КНР. В России серийное производство подложек GaN отсутствует.



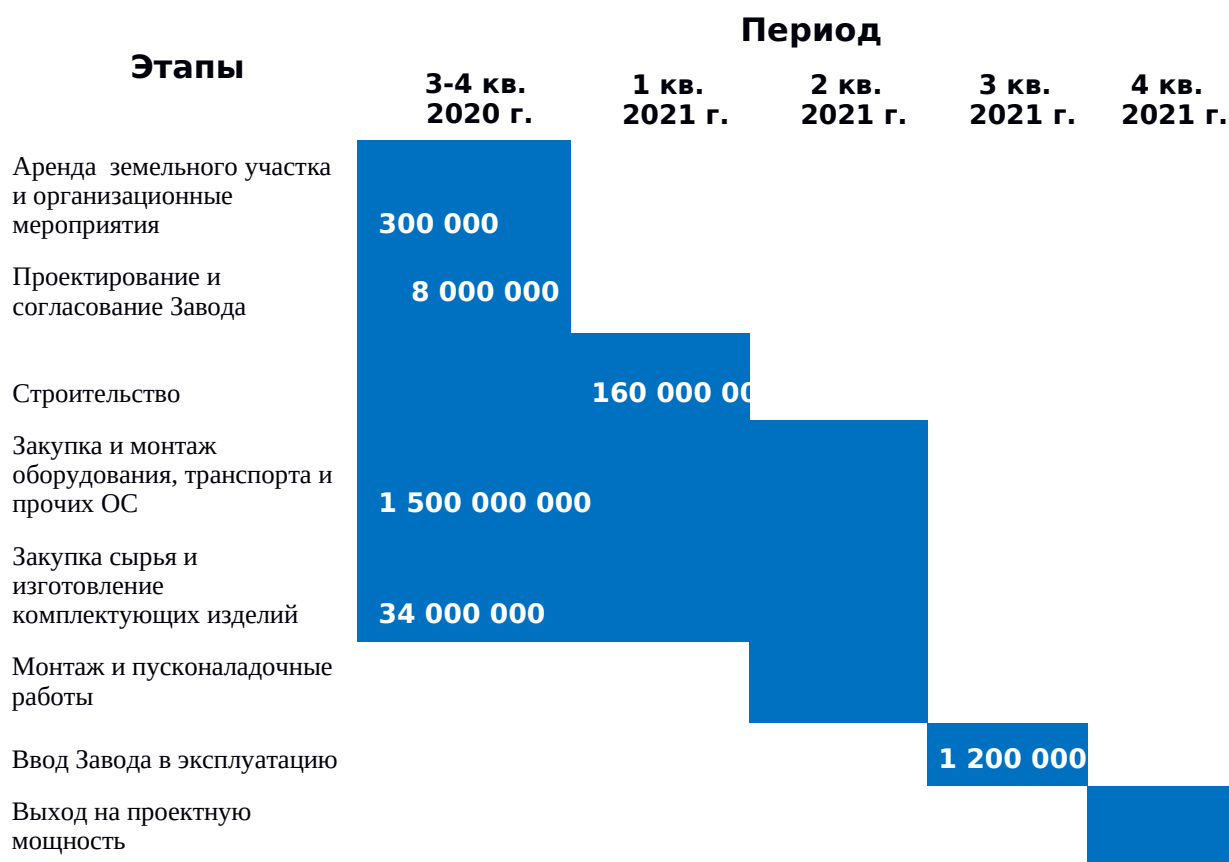
Основные мировые производители подложек GaN (Yole Dev. Report 2014)

Предложенная компанией «ТРИНИТРИ» технология «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов из GaN (применимо также для AlN, SiC и алмаза), путём срезания тонкой плёнки приборной структуры фемтосекундным лазером и переноса её в корпус, радикально решает проблему дорогой подложки для производства GaN-on-GaN светодиодов и других полупроводниковых приборов на базе нитрида галлия (лазеров, СВЧ и силовых приборов). Аналоги данной технологии авторам проекта неизвестны.

В рамках технологии «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов из GaN нет необходимости массово производить и использовать дорогие GaN подложки, достаточно осуществлять разовые ограниченные закупки за рубежом или в будущем наладить собственное мелкосерийное производство материнских подложек (см. Приложение 1).

9. Планирование и сметная стоимость работ по Проекту

(сроки строительства, монтажа, ввода в эксплуатацию и достижения проектной мощности оборудования - календарный план с указанием затрат на реализацию каждого этапа).



9.1. Производственная программа претендента в номенклатурном разрезе.

Номенклатура выпускаемых изделий различных мощностей потребления на этапе проекта состоит из 1 типа продукции – светодиодные пластины диаметром активной области 40мм. Подобная продукция является уникальной и нигде в мире не производится.

9.2. Производственные мощности и их развитие.

Технология производства светодиодных пластин подразумевает изготовление полного цикла электролюминесцентных светоизлучающих приборов. В нее входит изготовление эпитаксиальной структуры на подложках нитрида галлия, пост эпитаксиальные операции, лазерное срезание сформированной структуры с материнской подложки и установка на теплоотводящую пластину, контроль качества, упаковка. Использованная подложка после операции срезания проходит процедуру эпи-полировки и снова возвращается в технологический цикл на этап изготовления эпитаксиальной структуры. Данные решения позволят максимально полно сосредоточить изготовление светоизлучающих пластин на предприятии, что исключит появление некачественной продукции и даст возможность оперативно управлять производственными процессами. Оборудование будет закупаться

закупаться исключительно новым, не участвовавшим в производственных процессах и не выставочные образцы. Оборудование будет максимально скомпоновано и оптимизировано для требуемых процессов.

Норма амортизации, на оборудование, взята 15%. В лизинг и аренду подобное оборудование не поставляется.

Оборотные активы – запас сырья и комплектующих изделий – 34 млн. руб.

Технологическое и прочее оборудование подобрано с учетом его длительного срока эксплуатации (в среднем, не менее 5 лет), с возможностью дооборудования и расширения технологических возможностей, не требующих больших затрат.

Производственные площади и территория Завода предусматривает 40% запас на расширение мощностей.

10. Финансовый план

10.1. Бюджет доходов и расходов Компании

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.2. Бюджет движения денежных средств

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.3. Бюджет налоговых платежей

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.4. Предполагаемый объем инвестиций по проекту с указанием источников финансирования.

Предполагаемый объем инвестиций по данному Проекту составляет 1 977 000 000 руб. Источник финансирования – Средства Инвестора данного Проекта.

10.5. Оценка эффективности проекта и рисков его реализации

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.6. Расчет показателя внутренней нормы рентабельности IRR

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.7. Расчет срока окупаемости инвестиций по проекту

(см. Приложение 3 «Экономика проекта»)

10.8. Определение точки безубыточности деятельности.

См Приложение 3 «Экономика проекта»)

11. Анализ основных видов рисков.

11.1. Идентификация и оценка рисков

Факторы риска		Вероятность	Серьезность	Риск
Неконтролируемые риски				
Изменения в законодательстве (ИЗ)	<ul style="list-style-type: none"> Законодательный запрет на продажи светодиодных светильников 	1	3	ИЗ 1
Валютные риски (ВР)	<ul style="list-style-type: none"> Значительный рост курса валют 	2	2	ВР 1
Ухудшение экономической обстановки (ЭО)	<ul style="list-style-type: none"> Значительное падение платежеспособного спроса Остановка деятельности у технологических партнеров 	2	3	ЭО 1
		2	2	ЭО 2
Ухудшение политической обстановки (ПО)	<ul style="list-style-type: none"> Ухудшение отношений со всеми странами, куда планируется сбывать продукцию 	2	3	ПО 1
Контролируемые риски				
Производственные (ПР)	<ul style="list-style-type: none"> Высокая доля брака Отставание производительности технологических партнеров от запланированного уровня Выход из строя технологического оборудования. 	2	2	ПР 1
		2	3	ПР 2
		2	2	ПР 3
		2	2	ПР 3
Финансовые (ФР)	<ul style="list-style-type: none"> Нехватка оборотных средств 	3	3	ФР 1
Маркетинговые (МР)	<ul style="list-style-type: none"> Медленный приток клиентов; Низкая производительность труда; Дискредитация репутации конкурентами; Неудовлетворенность потребителей. 	3	3	МР 1
		3	2	МР 2
		3	3	МР 3
		2	3	МР 4
		3	2	МР 5
Кадровые риски (КР)	<ul style="list-style-type: none"> Нехватка квалифицированного персонала; Увольнение ключевых сотрудников 	3	2	КР 1
		2	2	КР 2
Операционные риски (ОР)	<ul style="list-style-type: none"> Утечка конфиденциальных сведений; Нарушения в выполнении бизнес-процессов 	1	3	ОР 1
		2	2	ОР 2

Шкала оценки вероятности наступления опасной ситуации

Шкала оценки вероятности наступления опасной ситуации		
Балл	Название	Оп
1	Практически невероятно	Менее 1%
2	Маловероятно	~ 25%
3	Достаточно вероятно	~ 50%
4	Вероятно	~ 75%
5	Очень вероятно	от 95%

Шкала оценки серьезности наступления опасной ситуации

Серьезность опасного риска (уровень тяжести опасной ситуации, вред)		
Балл	Тяжесть	Описание
1	Пренебрежимо малая	Почти не влияет на показатели доходности проекта
2	Незначительная	Влияет на потребность в инвестициях, но сохраняет доходность проекта в пределах допустимых значений
3	Значительную	Может ухудшить доходность инвестиций на планируемом горизонте
4	Критическая	Существенно увеличивает сроки окупаемости инвестиций
5	Катастрофическая	Исключает в принципе возможность окупить инвестиции

Матрица рисков

Серьезность
Оценка вероятности

1

2

3

	1	2	3	4	5
1			ИЗ1, ОР1		
2		ВР1, ЭО2, ПР1, КР2, ОР2	ЭО1, ПО1, ПР2, МР4		
3		МР2, КР1	ФР1, МР1, МР3		

4

5



Зеленая зона – допустимый незначительный риск;

желтая зона – допустимый риск, требующий повышенного внимания;

красная зона – неприемлемый риск (разработка срочных мер по снижению риска).

Ячейки диаграммы заполняются присваиванием каждой опасной ситуации оценки вероятности возникновения и возможного вреда.

Выявленные опасности не выходят за пределы значений допустимого риска.

11.2. Меры по управлению рисками

Реализуемые предупреждающие и корректирующие меры.

Факторы риска		Реализуемые предупреждающие и корректирующие меры
Неконтролируемые риски		
ИЗ 1	<ul style="list-style-type: none"> • Законодательный запрет на розничную реализацию; 	Так как риск невероятен, меры не предусматриваются
ВР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Значительный рост курса валют; 	<ul style="list-style-type: none"> • Применение повышенной ставки в финансовом планировании; • Увеличение отпускной цены при курсе валют выше
ЭО 1	<ul style="list-style-type: none"> • Значительное падение платежеспособного спроса; • Остановка деятельности у технологических партнеров; 	<ul style="list-style-type: none"> • Работа над снижением себестоимости продукции; • Поиск компаний-дублеров поставщиков комплектующих изделий; • Поиск и отбор новых потенциальных подрядчиков.
ЭО 2		
ПО 1	<ul style="list-style-type: none"> • Ухудшение отношений со всеми странами, куда планируется сбывать продукцию; 	<ul style="list-style-type: none"> • Поиск новых рынков сбыта продукции • Поиск потенциальных покупателей проекта среди частных лиц (силами брокера); • Проработка сценариев возврата инвестиций без учета возможности продажи проекта стратегическому инвестору;
Контролируемые риски		
ПР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая доля брака; 	<ul style="list-style-type: none"> • Внедрение и поддержание СМК, соответствующей стандартам ИСО 9001;
ПР 2	<ul style="list-style-type: none"> • Отставание производительности технологических партнеров от запланированного уровня; 	<ul style="list-style-type: none"> • Применение пессимистичных норм производственного планирования; • Поиск и отбор новых потенциальных подрядчиков;
ПР 3	<ul style="list-style-type: none"> • Выход из строя технологического оборудования. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ведение планово-предупредительного ремонта; • Дублирование уникальных установок.

ФР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Нехватка оборотных средств 	<ul style="list-style-type: none"> • Работа над привлечением инвестиций из всех возможных источников; • Работа над привлечением грантового финансирования;
МР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Медленный приток клиентов; 	<ul style="list-style-type: none"> • Выделение подготовительного этапа в освоении рынка, направленного на проработку основных барьеров при привлечении клиентов; • Привлечение дистрибьюторов;
МР 2	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая производительность труда; 	<ul style="list-style-type: none"> • Обучение рабочего персонала на курсах повышения квалификации; • Внедрение наставничества;
МР 3	<ul style="list-style-type: none"> • Дискредитация репутации конкурентами; 	<ul style="list-style-type: none"> • Поддержка проведения дальнейших исследований, научные публикации;
МР 4	<ul style="list-style-type: none"> • Неудовлетворенность потребителей. 	<ul style="list-style-type: none"> • Проработка мер направленных на выявление возможных проблем и их ликвидация на этапе производства
КР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Нехватка квалифицированного персонала; • Увольнение ключевых сотрудников 	<ul style="list-style-type: none"> • Организация обучения и повышения квалификации персонала; • Развитие взаимозаменяемости сотрудников; • Разработка и документирование бизнес-процессов на всех стадиях, контроль за управлением документацией
КР 2		
ОР 1	<ul style="list-style-type: none"> • Утечка конфиденциальных сведений; 	<ul style="list-style-type: none"> • Поддержание режима коммерческой тайны; • Поддержание в рабочем состоянии СМК
ОР 2	<ul style="list-style-type: none"> • Нарушения в выполнении бизнес-процессов 	13485

Технологический риск

Оборудование предполагается к использованию новое, не бывшее в употреблении.

В закупаемом оборудовании предусматривается поставка ЗИП.

Компания – поставщик, по техническому заданию на поставку оборудования, должна являться официальным дилером завода-изготовителя.

Обучение рабочего и ремонтного персонала, их аттестацию юдет проводить Компания-поставщик оборудования.

На всю оснастку подразумевается гарантийный срок не менее одного года.

Организационный и управленческий риск

Организация всех производимых работ на производстве будет осуществляться под контролем планово-диспетчерского отдела.

Набор квалифицированных специалистов и первичную аттестацию предлагается осуществлять через кадровые агентства.

В дальнейшем, повышение квалификации, будет проходить посредством обучения на специализированных курсах.

Для организации ритмичных поставок продукции будут составляться план-графики работ, в которых отражены обязательные сроки выполнения работ, поставки товара, объемы,

ответственные за исполнение. Для стимуляции рабочих процессов и повышения ответственности за исполнения графика предусмотрены штрафные и премиальные мероприятия.

Риск материально-технического обеспечения

Для исключения срыва поставок на основные позиции комплектующих изделий и изделий с длительным циклом изготовления планируется иметь их 2-х недельный складской запас, ряд альтернативных поставщиков, а максимально возможную часть комплектующих изделий производить на собственном предприятии.

Финансовый риск

Любая составляющая деятельности предприятия является фактором риска. Поэтому, что бы исключить со стороны инвестора вероятность неплатежей, или срывов сроков платежей, в Инвестиционном соглашении, предусмотрено начало производства работ только после 100% внесения инвестируемой суммы на счет Компании инициатора Проекта. Использование Банковских кредитных ресурсов не предусмотрено.

Экономические риски

Как таковые, тарифы на электроэнергию, отопление, газоснабжение на данный Проект большого значения не имеют. Производство не является энергоемким. В случае глобального повышения тарифов на перечисленные выше ресурсы мы готовы своими силами генерировать электроэнергию из возобновляемых источников энергии (собственные разработки в этой отрасли). Это позволит удерживать себестоимость продукции на должном уровне и сохранить клиентов. В качестве альтернативных рынков сбыта планируется использовать страны Евросоюза, США и Канады. Размещая Предприятие в ОЭЗ Калужской области мы получаем частичное освобождение от ряда налогов и будем достаточно долгое время защищены от повышения налоговых ставок.

Экологические риски

Масштаб воздействия инвестиционного проекта на окружающую среду – локальный и охватывает промышленную зону предприятия.

Для очистки воздуха внутри завода, на «чистых производствах» и на выходе в окружающую среду – установка системы пылеудаления и аспирации воздуха.

12. Распределение долей и выход инвестора из проекта.

Инвестору мы предлагаем пассивный вариант управления инвестициями. Контролировать деятельность компании инвестор может при помощи внешних специалистов и экспертов.

Выделяемая доля в компании инвестору – 25%, остальные 75% принадлежат менеджменту Компании-инициатору Проекта. Размещение инвестируемых средств предусмотрено на период 6 лет, из которых 12 месяцев уйдет на строительство и оборудование завода и 9 месяца на запуск Завода на проектную мощность.

Выход инвесторов из проекта запланирован на середину 2025 г. через продажу долей менеджменту Компании инициатора Проекта, после возврата инвестируемых средств.

13. Список Приложений:

- 1. Приложение 1. Технологический задел компании ТРИНИТРИ**
- 2. Приложение 2. Рынок GaN светодиодов**
- 3. Приложение 3 Экономика проекта (в отдельном файле)**

Приложение 1: Технологический задел компании «ТРИНИТРИ».

Компания «ТРИНИТРИ» разработала в 2010г технологию «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов из GaN (применимо также для AlN, SiC и алмаза), путём срезания тонкой плёнки приборной структуры фемтосекундным лазером и переноса её в корпус (рис.1). Данная технология радикально уменьшает себестоимость производства полупроводниковых приборов из GaN и при этом разработанная технология существенно повышает их эксплуатационные характеристики. Технология запатентована и не имеет аналогов.

Цель данной технологии: Внедрить в промышленность дешёвую технологию производства приборов нитридной электроники, которая является критической технологией для экономики страны.

Наше решение коммерческая (в перспективе произведенная компанией «ТРИНИТРИ») подложка нитрида галлия, толщиной 400-500 микрометров с двух сторонней полировкой используется для эпитаксиального роста приборной структуры (это нанесение нескольких тончайших слоёв приборной структуры методом MOCVD). Затем следуют постростовые операции: нанесение металлических или диэлектрических слоёв, контактов.

Далее фемтосекундным лазером срезается готовая полупроводниковая структура, толщиной несколько микрометров, которая затем переносится на хорошо проводящую тепло дешёвую подложку. Подложка в этом технологическом процессе не расходуется, а используется только информация о её кристаллической структуре. Срезанные с материнской подложки слои толщиной несколько микрометров с приборной структурой восстанавливаются при каждом новом нанесении приборных слоёв. Процесс размножения приборных структур мы назвали технологией клонирования или бесподложечной или одноподложечной технологией, поскольку **дорогостоящие материнские подложки не расходуются**

На **«Входе»** технологической линейки требуются только газы для реакторов типа HVPE, MOCVD или MBE, а на **«Выходе»** готовые приборы. Нет необходимости массово производить дорогие подложки, достаточно в будущем наладить мелкосерийное производство материнских подложек.

Переход на новую технологию осуществляется включением в технологическую цепочку только одного нового звена - Лазерного отделения/слайсинга тонкой плёнки, Рис.1. Этот

метод разработан и запатентован нами в 2010 году.

Остальные техпроцессы хорошо известны в промышленности но, для ускорения, могут быть закуплены.

Технология защищена рядом наших Патентов , основной из них:

“Method of Separating Surface Layer of Semiconductor Crystal Using a Laser

Beam Perpendicular to the Separating Plane“, приоритет **20 ноября 2010** RU 2010148544

EP 2646194B1 WO 2012074439A2

US 20130248500A1 CN 103459082B

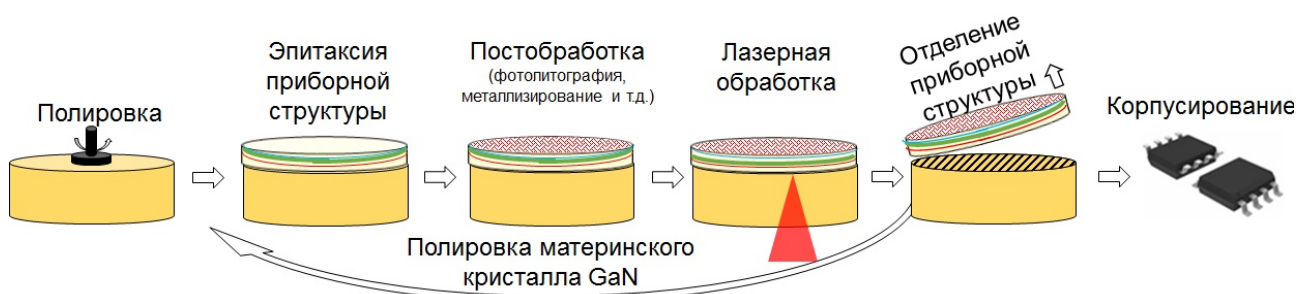


Рис.1 Технология «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов

Технологический задел: оборудование для лазерного отделения

Разработана и изготовлена опытная установка для лазерного отделения тонких (5-10 мкм) слоёв GaN (см. рис. 2)

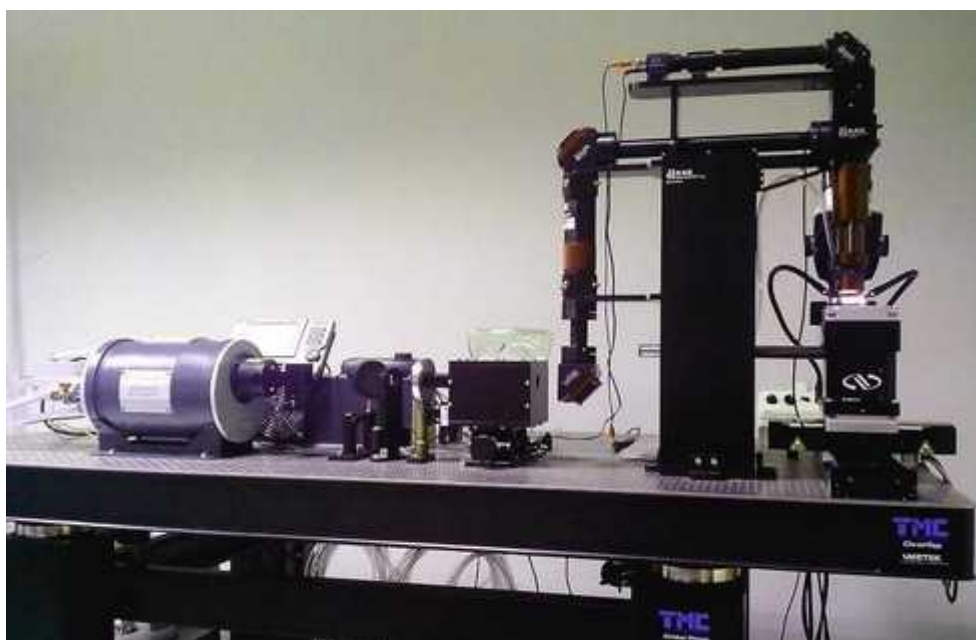


Рис.2. Опытная установка для лазерного отделения тонких (3-10 мкм) слоёв GaN.
Данная технология успешно продемонстрирована компанией «ТРИНИТРИ» на примере светодиодной структуры (рис. 3).

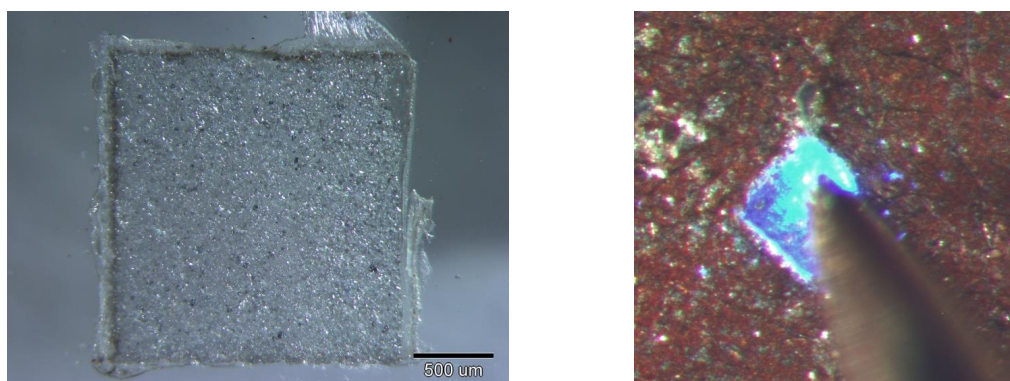


Рис.3. Тонкие слои микронной толщины со светодиодной структурой, отделённые от подложки объёмного GaN по технологии LSS (слева) Вид светящейся светодиодной структуры, отделенной с помощью LSS и перенесённой на медный теплоотвод (справа).

Продемонстрировано, что светодиодная структура после отделения от подложки обладает светоизлучающими свойствами, аналогичными структуре на исходной подложке.

Помимо создания технологии «бесподложечного» производства полупроводниковых приборов компания «ТРИНИТРИ» имеет большой опыт в области синтеза материнских подложек нитрида галлия. Собственное производство качественных подложек нитрида галлия необходимо в случае: запрета ввоза подложек из-за рубежа в связи с введенными санкциями, а также для снижения затрат на производство изделий, поскольку затраты на подложку нитрида галлия – основная статья в структуре себестоимости изделия, изготовленного на “GaN-on-GaN” технологической платформе.

Подробности о технологическом заделе компании ТРИНИТРИ указаны в Приложении 1.

Технологический задел: оборудование

Компанией «ТРИНИТРИ» разработаны и изготовлены два типа HVPE- реакторов для роста подложек GaN, не имеющие аналогов на рынке:

1. Одноподложечный реактор, пригодный для длительных ростовых процессов и получения объемных монокристаллов нитрида галлия диаметром 50 мм (рис. 4).



Рис. 4. Одноподложечный реактор, пригодный для длительных ростовых процессов и получения объемных монокристаллов нитрида галлия диаметром 50 мм.

2. Шестиподложечный реактор для выращивания и отделения от сапфира подложек нитрида галлия толщиной 0,4 мм и диаметром 50 мм (рис. 5)



Рис.5. Шестиподложечный реактор для выращивания и отделения от сапфира подложек нитрида галлия толщиной 0,4 мм и диаметром 50 мм.

Технологический задел: рецептура изготовления подложек GaN

1. Отработана технология выращивания монокристаллических слоёв GaN высокого качества на подложках сапфира с помощью многоподложечного реактора компании ТРИНИТРИ

(рис.6).

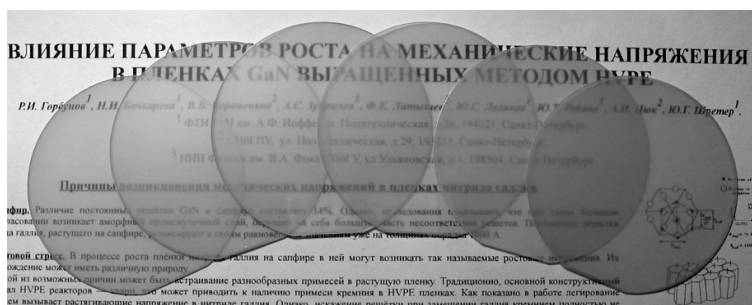


Рис. 6. Монокристаллические слои GaN, выращенные на подложках сапфира методом HVPE

2. Отработана технология роста толстых слоёв (1-5 мм) кристаллов нитрида галлия с плотностью дислокаций $\sim 10^6 \text{ см}^{-2}$ с помощью одноподложечного реактора компании ТРИНИТРИ и получены лабораторные образцы с требуемыми для изготовления подложек параметрами (рис. 7).

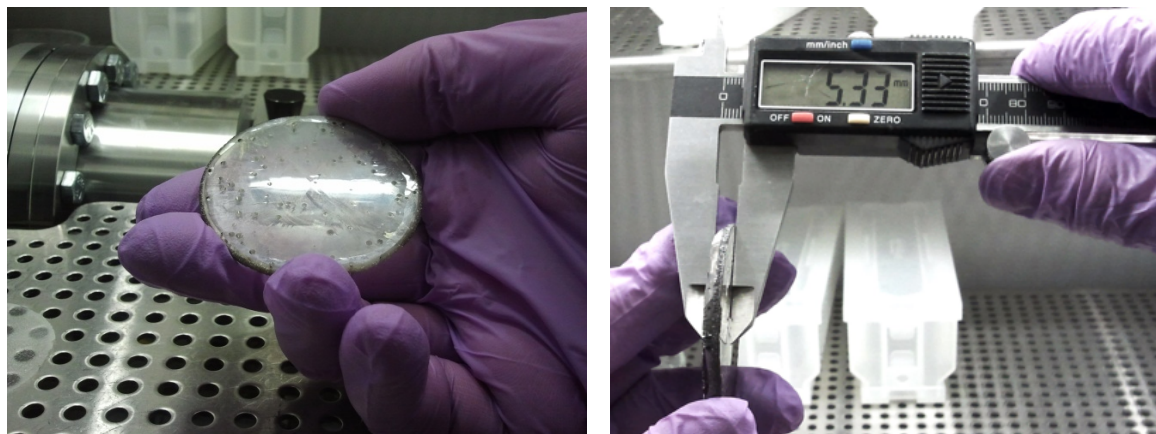


Рис.7. Объёмные кристаллы нитрида галлия толщиной 3-6 мм и диаметром 50 мм до операции полировки

Характеризация материнских подложек нитрида галлия диаметром 50 мм, выполненная в Физико-Техническом институте им. А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург) (рис. 8, 9)

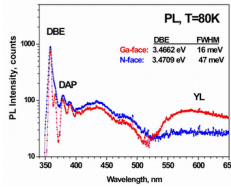
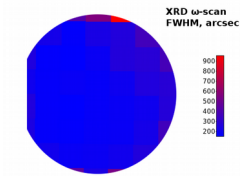


Рис. 8а. Распределение ширины полосы рентгеновской кривой качания по площади подложки

Рис. 8б. Спектры фотолюминесценции от Ga- и N-сторон подложки

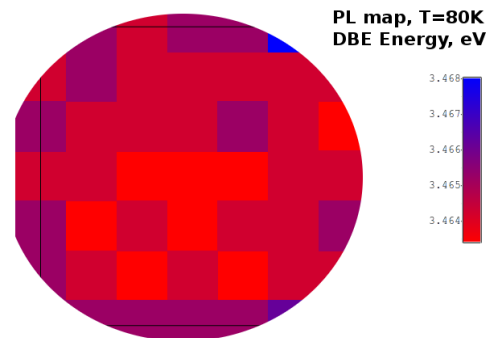
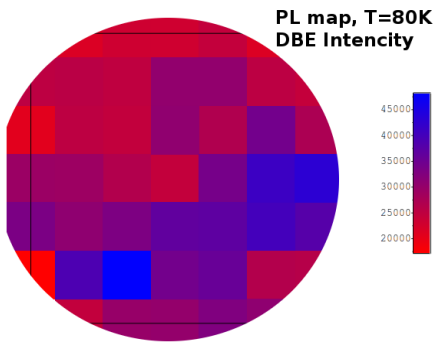


Рис.8с. Распределение интенсивности экситонной полосы фотолюминесценции по площади подложки

Рис. 8д. Распределение положения экситонной полосы фотолюминесценции по площади подложки

Данные рентгеноструктурного анализа:

Параметр решетки	c (Å)	a (Å)	FWHM (arcsec)
Значение	5,18530	3,18910	47

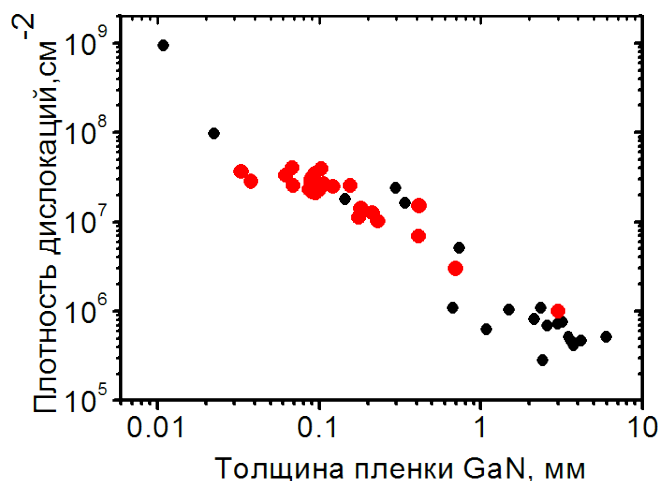


Рис. 9. Плотность дислокаций в типичных образцах толщиной 2мм не превышает 10^6 см^{-2} (плотность дислокаций будет уменьшена до 10^4 см^{-2} путём многократного разрачивания материнских подложек в процессе производства).

Дополнительный продукт (в случае развития проекта)

Собственное производство качественных подложек нитрида галлия необходимо в случае: запрета ввоза подложек из-за рубежа в связи с введенными санкциями, а также для снижения затрат на производство изделий, поскольку затраты на подложку нитрида галлия – основная статья в структуре себестоимости изделия, изготовленного на “GaN-on-GaN” технологической платформе.

1) Материнские подложки нитрида галлия, получаемые по запатентованной технологии на оборудовании «Тринитри» (GaN).

Материнские подложки предназначены для выращивания приборных структур мощных светодиодов, лазеров, силовых и СВЧ приборов. Также материнские подложки используются для производства на их основе композитных подложек.

Материнские подложки - это практически бездефектные подложки, с плотностью дислокаций менее 10^4 см^{-2} . Поверхность подложек атомно-гладкая с шероховатостью $\sim 3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, подготовленная для выращивания на них эпитаксиальных структур. Толщина подложек 330 мкм.

2) Композитные подложки, полученные запатентованным методом клонирования материнской подложки СТ™ и лазерного слайсинга LSS™.

Технологии клонирования СТ™ и лазерного слайсинга LSS™ позволяют многократно

использовать дорогие материнские подложки GaN, срезая с них тонкие слои GaN. Это новая технологическая платформа для реализации бездефектного процесса эпитаксии GaN-on-GaN.

Продуктом является композитная подложка, получаемая путём переноса тонкого слоя GaN на теплопроводящую алмазную CVD-керамику или металл. Всё это позволяет выращивать приборные структуры с качеством не хуже, чем на объёмном GaN, при меньшей себестоимости подложки.

Перспективой развития проекта является создание собственного производства приборных структур. Интеграция процесса создания приборных структур с технологией клонирования позволяет дополнительно уменьшить себестоимость и повысить качество получаемого продукта.

Производство материнских подложек

Процесс производства материнских подложек GaN

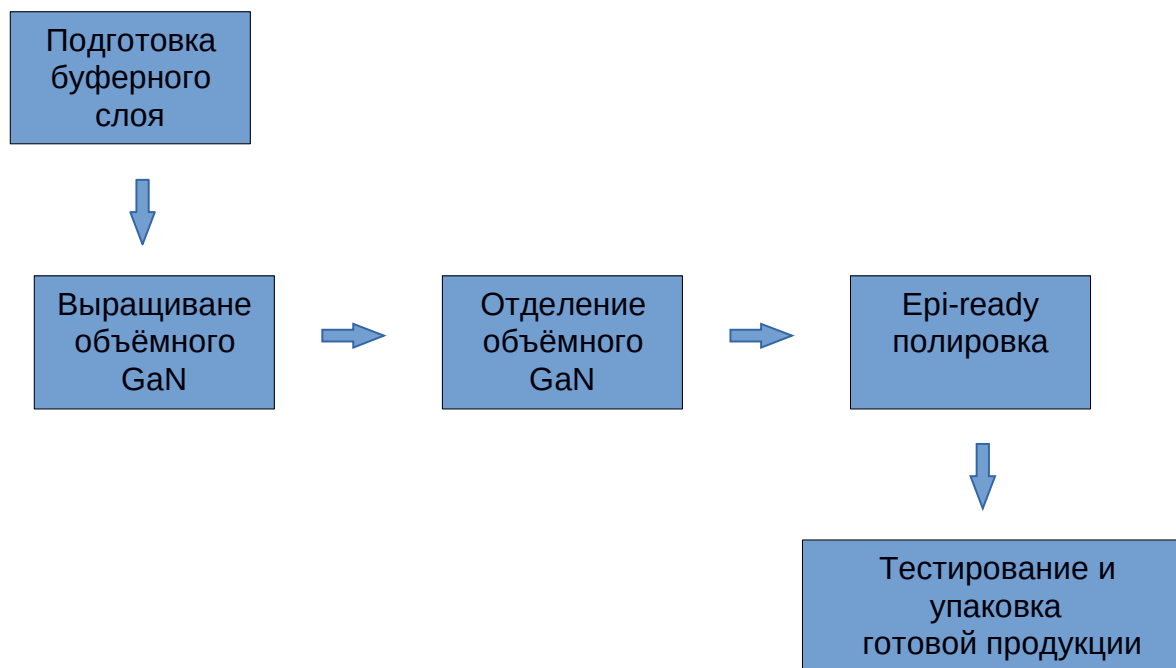


Схема технологического процесса производства материнских подложек GaN (ТРИНИТРИ)

Необходимое технологическое оборудование первого этапа

В настоящее время развитие проекта сдерживается необходимостью расширения технологической линейки оборудования, требуемого для изготовления конечного продукта: шлифовально-полировальное оборудование, установки для очистки, травления, контроля качества.

Общая сумма необходимая для закупки технологического оборудования составляет около 9,28 млн. евро. При расчете цен использовался курс евро 70 рублей; НДС + доставка включалась коэффициентом 1.25.

Оборудование	Ориентировочная цена, млн. евро	Ориентировочная цена, млн. руб
HVPE установка (стоимость комплектующих, сборка будет осуществлена силами ТРИНИТРИ)	0,7	49

CVD алмаз-установка	0,5	35
ALD установка	0,55	38,5
PECVD установка для диэлектриков	0,35	24,5
RIE установка для травления GaN	0,4	28
Установки нанесения металлов и травления металлов.	0,4	28
Лазерный фотолитограф нанесение, проявление и удаление фоторезиста.	0,48	33,6
Участок резки, шлифовки и полировки нитрида галлия	1,5	105
Установка отмывки	0,2	14
Установка лазерного отделения	1	70
Установки бондинга и дебондинга	0,75	52,5
Установка планаризации поверхности	0,3	21
Рентгеновский дифрактометр	0,3	21
Контактный профилометр	0,1	7
Сканирующий акустический микроскоп	0,4	28
Атомно-силовой микроскоп	0,2	14
Интерферометр (zeego)	0,15	10,5
Сканирующий электронный микроскоп (CL, EDX)	0,65	45,5
Установка бесконтактного Холл-картографирования.	0,35	24,5
ВСЕГО	9,28	649,6

Оценка рентабельности пилотного производства материнских подложек нитрида галлия.

Себестоимость продукта первого этапа - материнской подложки нитрида галлия 2"х300 см.

Стоимость расходных материалов и электроэнергии в расчёте на одну подложку (руб.):

Материалы	Ед. изм.	Расход	Стоимость
Химические реактивы			
Изопропиловый спирт	литр	0.02	5р.
Подложки			
Сапфир, 2"	шт	1	796р.
Материалы для полировки			
Шлифовальный пад	шт	1	1 031р.
Полировальный пад	шт	1	963р.
Полировальная паста	литр	4.2	866р.
Материалы для роста			
Азот, 6N	литр	8200	103р.
Аммиак, 6N	литр	400	1 400р.
HCl газ, 6N	литр	5	9р.
Ga, 6N	грамм	16	1 100р.
Вспомогательные газы			
Ar газ, 6N	литр	3.4	5р.
CH4 газ, 3N	литр	3.4	2р.
Электроэнергия	кВт ч	354	1 664р.
Всего			7 943р.

В условиях пилотной линии :

Амортизация ростового оборудования при сроке амортизации 5 лет в расчёте на одну подложку ~ 5,000р.

Амортизация полировального оборудования при сроке амортизации 5 лет в расчёте на одну подложку зависит от уровня загрузки линии, то есть от количества работающих ростовых установок и составляет:

для 1 ростовой установки: 75,000р

для 5 ростовых установок 15,000р

для 10 ростовых установок 7,500р

полная загрузка полировального оборудования достигается при 30 ростовых установках: 2,500р.

Расходы на заработную плату (20 операторов и технологов) в расчёте на одну подложку составляют:

~ 30,000 р при 5 ростовых установках

~ 15,000 р при 10 ростовых установках.

Расширение линии за счёт установки дополнительных HVPE реакторов позволит в дальнейшем снизить себестоимость

Количество ростовых HVPE установок	Объём производства, подложек в год	Себестоимость одной подложки GaN 50 мм
1	200	240,000
5	1000	60,000
10	2000	36,000

Рыночная стоимость подложки 50 мм от 100,000р до 150,000р:

Производитель	Цена подложки GaN 50мм
Mitshubishi chemical (Япония)	2000\$
Nanowin (Китай)	2500\$
Кума (США)	3000\$

Срок окупаемости проекта при объёме производства 2000 подложек в год продаже по рыночной стоимости составляет ~1.5 года.

Тонкопленочная технология

Оценка рентабельности производства композитных подложек

Согласно результатам, полученным экспертами компании Yole Developement, технология композитных подложек GaN позволяет значительно понизить их себестоимость по сравнению с материнскими подложками GaN равной площади. Большее количество

технологических операций в процессе изготовления композитной подложки, компенсируется значительной экономией расходования совершенного нитрида галлия – самого дорогого компонента в себестоимости подложки.

Помимо отличных экономических показателей, композитная подложка объединяет высокое совершенство кристаллической структуры, с хорошей теплопроводностью пластины-носителя, что позволяет повысить мощность и срок службы прибора.

Технологическая операция	Стоимость в расчёте на подложку 100 мм, долларов США
Implantation	20
Exfoliated layer	136
Carrier wafer	100
Bonding	12
Smartcut	1
N side CMP	19
N side cleaning + etching	3
Ga Side finishing #1	20
Ga side finishing #2	17
Ga side cleaning	3
Ga Side RIE	9
Ga side final cleaning	3
Total	342

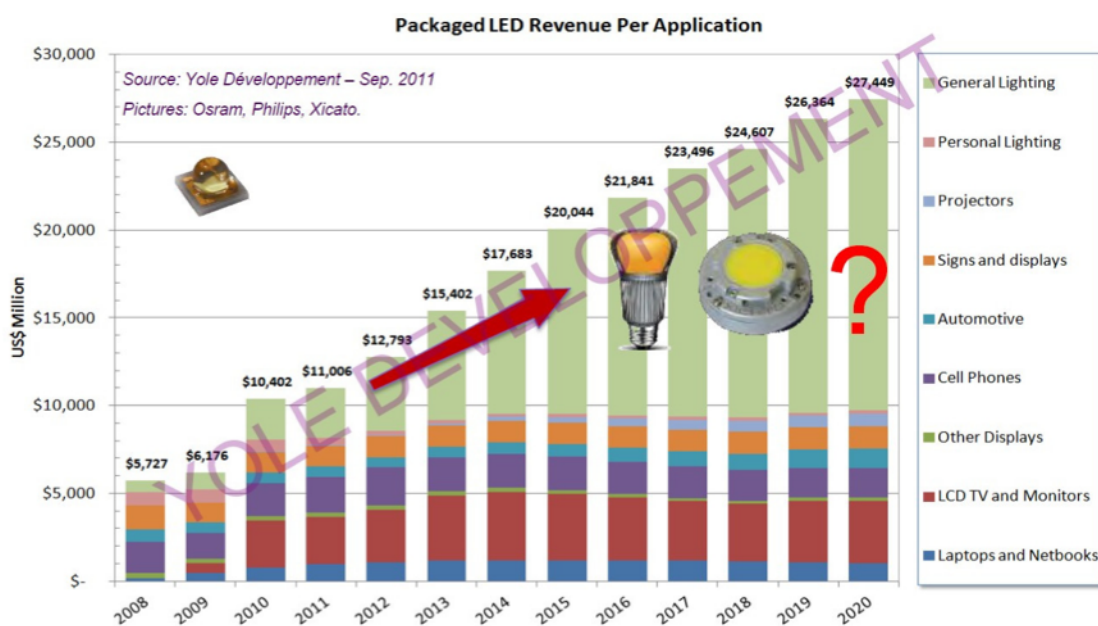
Из отчёта компании Yole Development: Bulk & Free-Standing GaN «Market analysis for free-standing bulk GaN substrates in laser diode, LED and power electronics applications, 2013 edition».

Из таблицы видно, что себестоимость композитной подложки в несколько раз меньше себестоимости производства материнской подложки, при равном кристаллическом совершенстве и лучшем теплоотводе для будущей приборной структуры.

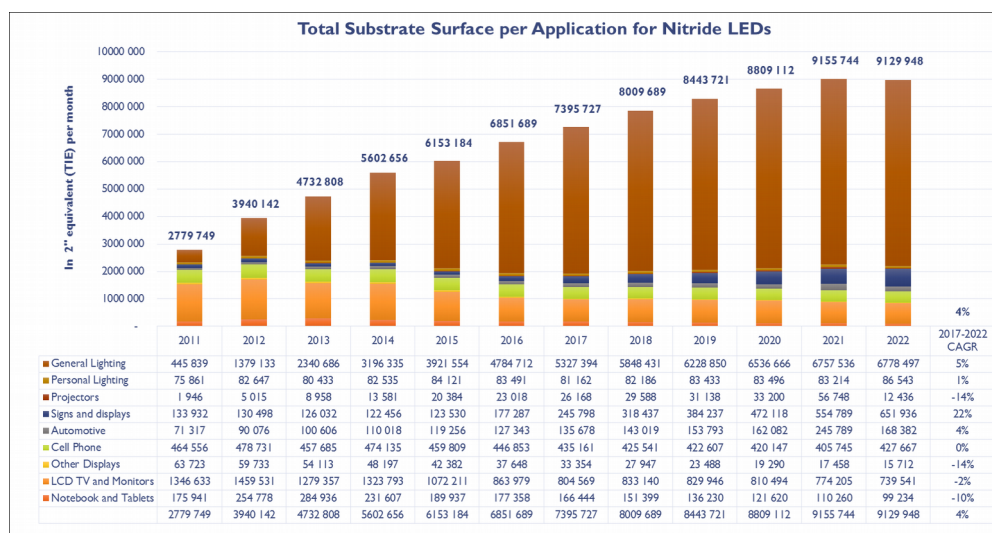
Приложение 2. Рынок GaN светодиодов

1. Тенденции мирового рынка

Мировой рынок светодиодов на GaN, как для подсветки экранов, так и светодиоды для освещения оценивается в сумму более 12 миллиардов долларов в 2014¹. Рынок светодиодов для подсветки экранов практически насыщен, в то время как рынок осветительных светодиодов быстро растет.



Прогноз роста мирового светодиодного рынка от компании Yole Development 2014



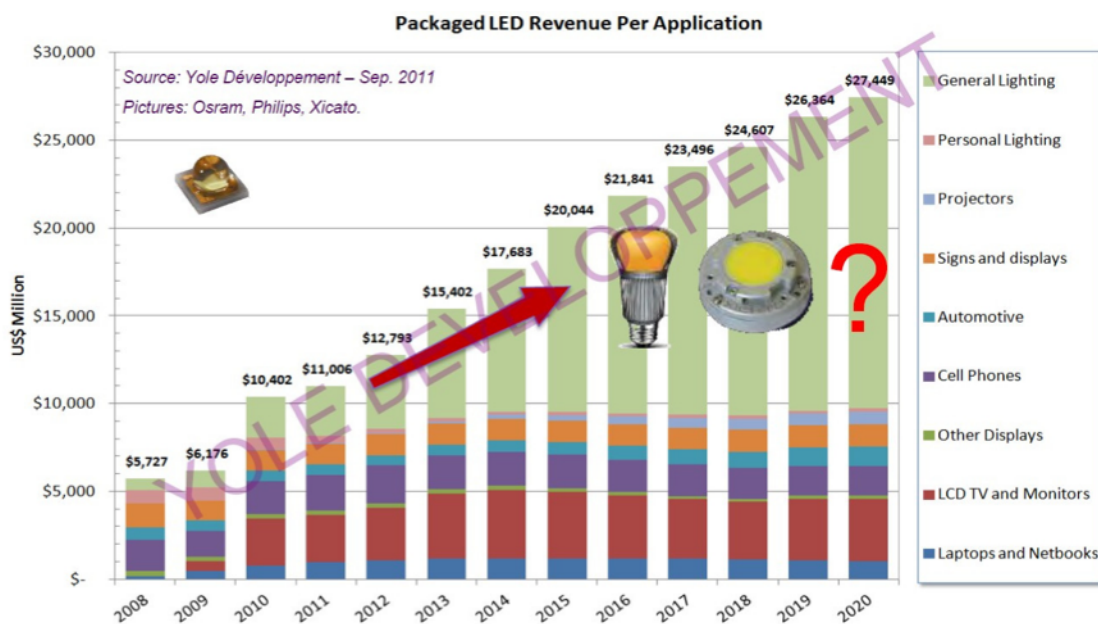
Прогноз роста потребления подложек для мирового светодиодного рынка от компании Yole Development 2016

¹ http://www.semiconductor-today.com/news_items/2014/FEB/IHS_130214.shtml

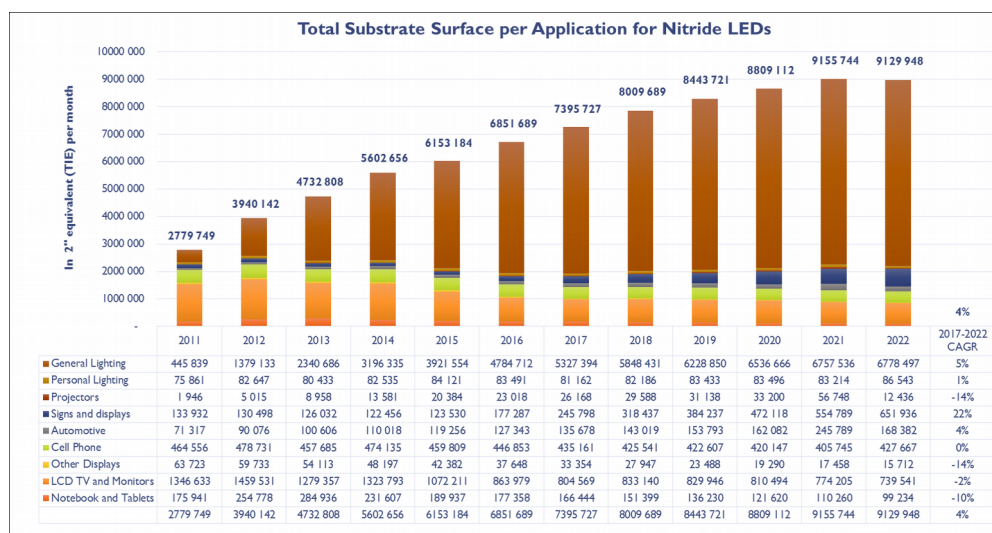
Приложение 2. Рынок GaN светодиодов

1. Тенденции мирового рынка

Мировой рынок светодиодов на GaN, как для подсветки экранов, так и светодиоды для освещения оценивается в сумму более 12 миллиардов долларов в 2014¹. Рынок светодиодов для подсветки экранов практически насыщен, в то время как рынок осветительных светодиодов быстро растет.



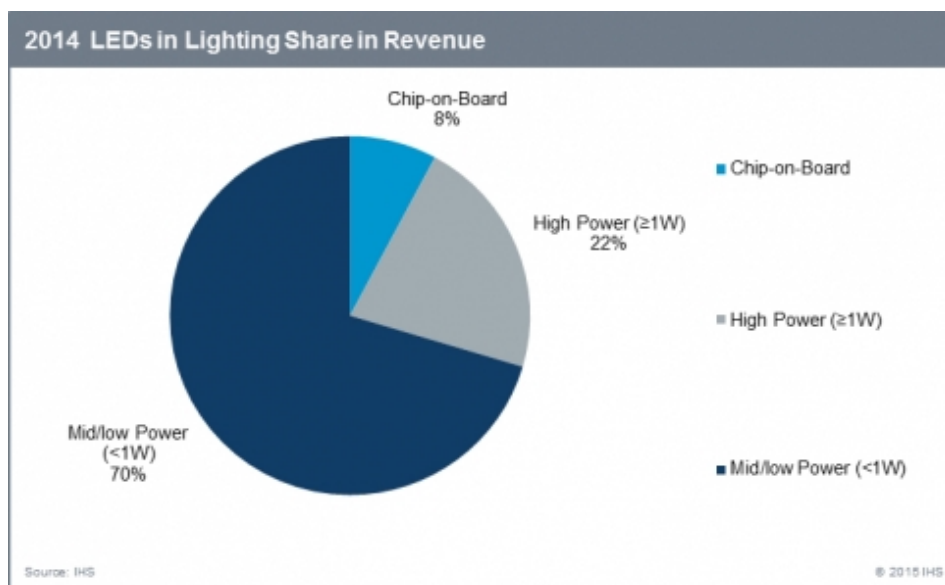
Прогноз роста мирового светодиодного рынка от компании Yole Development 2014



Прогноз роста потребления подложек для мирового светодиодного рынка от компании Yole Development 2016

¹ http://www.semiconductor-today.com/news_items/2014/FEB/IHS_130214.shtml

Так, мировые продажи упакованных светодиодов для осветительного оборудования достигли 6,6 млрд. долларов в 2014 году ²



Доля продаж различных типов упакованных светодиодов для осветительного оборудования

Основную долю в 70% по продажам (4,6 млрд.долларов) заняли упакованные средне- и маломощные светодиоды с мощностью менее 1Вт, в соответствии с IHS (). В этом сегменте рынка доминирует Nichia (Япония), за ней основные игроки - Seoul Semiconductor, Samsung (Южная Корея), и китайская компания MLS (5% доли рынка)

Светодиоды высокой мощности (более 1 Вт) заняли долю в 22% (1,5 млрд.долларов). В этом сегменте по прежнему доминируют несколько крупнейших международных компаний CREE, Lumileds, Osram (65% в данном сегменте)

Третий сегмент - чип на плате (chip-on-board (COB)) занимает 8% доли продаж (0,5 млрд. долларов). Доминирует Citizen (Япония) 20%, за ней CREE (США) 15%. Этот сегмент рынка обещает ежегодный прирост в 20% до 2020 года.

Основные мировые игроки расположились в следующем порядке по продажам в 2014 г.

- Nichia
- CREE
- Lumileds
- Seoul Semiconductor
- Samsung Electronics

² <http://www.compoundsemiconductor.net/article/97118-packaged-led-lighting-reached-6.6-billion-in-2014.html>

- LG Innotek
- MLS
- Osram Opto
- Everlight
- Citizen

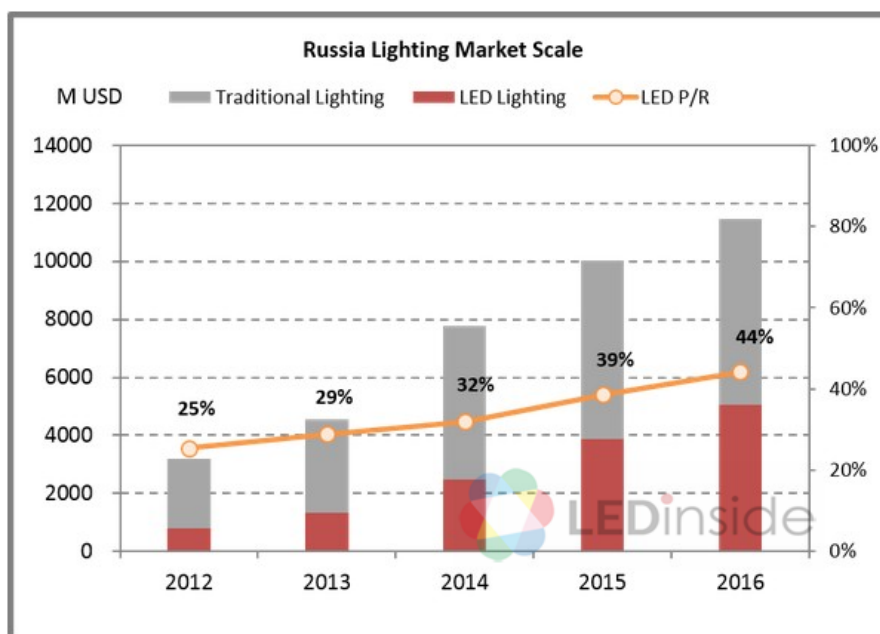
В последнее время мировой светодиодный рынок получает новое ускорение благодаря появлению инновационных продуктов – светодиодов с суперлюминесценцией (SUPERLEDs). Эти приборы имеют высокую мощность излучения на уровне лазерных диодов и при этом широкий (как у светодиодов) спектр излучения. Последнее является большим преимуществом светодиодов с суперлюминесценцией для восприятия человеческим глазом и будет использоваться как для систем освещения (вместо обычных светодиодов), так и в пикопроекторах для воспроизведения фотографий и видео, которые планируется устанавливать в мобильные устройства (смартфоны, планшеты и т.д.). Это приведет к новому буму в светодиодной индустрии.

2. Тенденции российского рынка светодиодов

Структура российского рынка светодиодной продукции сильно отличается от мировой. Причина заключается в том, что в структуре мирового светодиодного рынка значительную долю занимают светодиоды подсветки мобильных устройств и мониторов. Поскольку в России рынок мобильных устройств и мониторов принадлежит иностранным компаниям, основная доля светодиодного рынка приходится на сегмент освещения.

Емкость российского рынка всего осветительного оборудования на конец 2014 года оценивается в 7,8 миллиарда долларов³, из них 32% (2,5 млрд. долларов) занимает светодиодное освещение. Рост доли светодиодного рынка к 2016 году ожидается до 44% (3,4 млрд. долларов)

³ <http://www.ledinside.com>

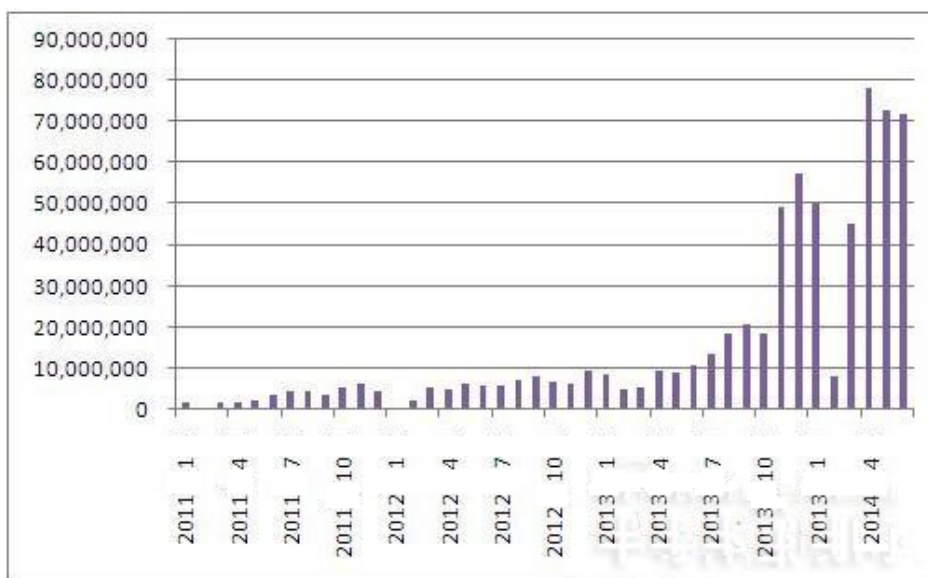


Тенденции роста российского рынка осветительного оборудования ⁴

Особенностью российского рынка светодиодного освещения является то, что он на 99,9% зависит от импорта. Это касается как самих светодиодных чипов и корпусированных светодиодов, так и драйверов питания и даже тепловых радиаторов. Кроме того, более 50% продаваемых в РФ светодиодных светильников импортируются целиком как готовые изделия. В отличие от развитых западных стран и Японии на бурно развивающемся российском рынке светодиодного освещения пока нет доминирования основных мировых компаний. Одним из основных игроков на российском рынке осветительного оборудования, в том числе светодиодного, является Китай с его многочисленными производителями. Годовой рост китайского светодиодного экспорта в Россию составил 260% 2013 году (227 миллионов долларов) и 571% в 2014 году (327 миллионов долларов) (рис.). Россия занимает второе место (9%) после США (15%) в китайском экспорте светодиодной продукции.

Китайские компании-производители светодиодной продукции очень активны на российском рынке. Однако, Китай пока не обладает технологиями и ноу-хау производства сверх ярких светодиодных чипов и GaN лазеров. Эту нишу на рынке занимают известные американские и японские компании, и прежде всего фирма CREE, продукция которой значительно более дорогая. Годовой доход фирмы CREE от мировой продажи сверх ярких светодиодных чипов и диодов GaN к 29 июня 2014 года составил 706.4 миллиона долларов.

⁴ http://www.ledinside.com/intelligence/2014/12/russian_market_introduction_and_trend_analysis



Рост объема китайского экспорта светодиодной продукции(в долларах США) в Россию ежемесячно в 2011-2014 годах⁵

Структура китайского экспорта светодиодной продукции в Россию в 2014 г .

- . Ленты светодиодов ~30.07%,
- . Лампы светодиодные (retrofit) ~15.83%,
- . Светодиодные панели~15.72%,
- . Прожекторное освещение ~11.48%,
- . Светодиодные взрывозащищенные светильники 5,11%
- . Светодиодные подсвечивающие светильники 2,57%
- . Светодиодные уличные светильники 1,75%
- . Светодиодные театральные светильники 1,49%
- . Светодиодные потолочные трубчатые светильники (под дизайн ртутных ламп) 1.46%
- . Врезные светодиодные светильники 1,40%
- . Светодиодная декоративная подсветка (новогодние гирлянды и т.д.) 1,35%
- . Светодиодная подсветка помещений 1,23%
- . Другие 7,82%

Таким образом,

⁵ <http://www.sanelighting.com/index.php/how-to-develop-the-russian-giant-led-lighting-market>

- Отечественный рынок целиком занят (99,9%) импортной светодиодной продукцией в основном из Китая. Готовые светодиодные светильники – 50%, комплектующие (чипы, светодиоды, драйверы) – 50%.
- В 2014 году китайские компании поставили в Россию продукции на 327 миллионов долларов. Правительство КНР призывает китайские компании увеличить экспорт в Россию, поскольку рынок светодиодной продукции в России они оценивают в ~2,5 млрд.\$ (на 2014 год) и он стремительно растет – в 2016 году достигнет ~3,4 млрд.\$.
- В России успешно организована сборка светильников из импортных комплектующих, см., например, фирма «ФОКУС» из г.Фрязинф.

⁶ <http://www.ledsvet.ru/about/>

3. Краткий обзор рынка “GaN-on-GaN” технологической платформы для светодиодов и лазеров

Основные потребители “GaN-on-GaN” технологической платформы – производители лазерных диодов и мощных светодиодов.

Лазерные диоды

Текущее состояние рынка

В настоящее время производство подложек для изготовления синих и зелёных лазеров является основным рынком сбыта подложек GaN. Текущая потребность этого рынка **20-40 тыс** 2х-дюймовых подложек в год. Альтернатив нитриду галлия на этом рынке нет – подложки из иных материалов не пригодны для создания синих и зелёных лазеров.

Перспективы рынка

Самым быстрорастущим сегментом GaN лазеров является производство лазеров для пикoprojectоров, встраиваемых в смартфоны, планшеты, умные часы и т.п. Уже сейчас суммарный годовой объём производства этих устройств превышает миллиард. Производство 100 млн пикoprojectоров потребует **~100,000** 2х дюймовых подложек. Сдерживает рост рынка нехватка на рынке GaN подложек.

Таким образом, спрос на подложки для синих и зелёных лазеров превышает сегодняшний мировой объём производства.

Светодиоды

Подложки для изготовления светодиодов – наиболее емкий перспективный мировой рынок сбыта подложек GaN. Общее объём рынка – **100,000,000** 2х дюймовых подложек в год.

Пока большая часть рынка занята подложками сапфира, карбида кремния и кремния. Эти подложки широко доступны и пригодны для создания светодиодов малой мощности. Рынок таких светодиодов уже прекратил рост и поделен между несколькими тайваньскими и корейскими компаниями.

Использование подложек нитрида галлия (т.е. “GaN-on-GaN” технологической платформы) позволяет в десятки раз увеличить мощность чипа и создать новое поколение светодиодов. Такие приборы необходимы производителям осветительных приборов.

Известно, что в основными составляющими себестоимости светодиодного светильника

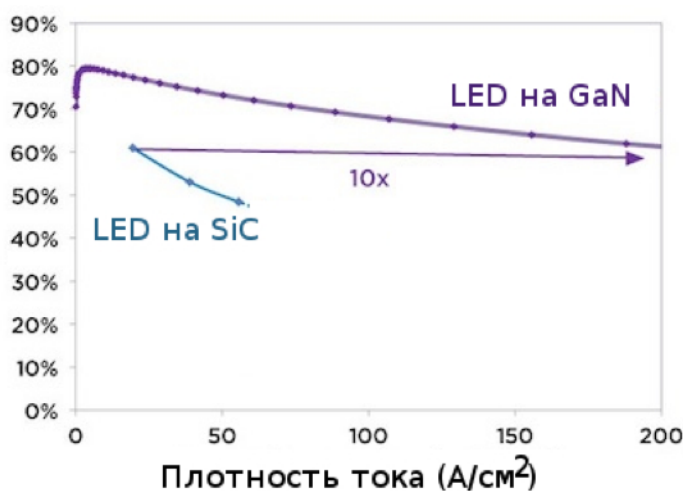
являются:

- электронная схема, питающая светодиод (драйвер)
- массивный радиатор, отводящий тепло от чипа
- оптические элементы (зеркала или линзы)

Использование “GaN-on-GaN” технологической платформы позволяет:

- уменьшить количество используемых чипов и упростить драйвер
- повысить КПД чипа, уменьшить количество тепла и уменьшить размер радиатора
- уменьшить размер чипа, и размер оптических элементов, необходимых для формирования пучка.

Эти преимущества оправдывают использование “GaN-on-GaN” технологической платформы несмотря на её более высокую стоимость. При этом даже 1% от рынка подложек для светодиодов более чем в 100 раз превышает текущий мировой объём производства подложек GaN.



Использование подложек GaN позволяет увеличить мощность чипа более чем в 10 раз (данные компании Sora, США).

Потребность в композитных тонкоплёночных подложках

Полный переход на подложки нитрида галлия при выращивании светодиодов потребует ежегодно **~500 тонн** галлия, что в два раза превышает мировое производство этого металла. Тонкоплёночная технология позволяет уменьшить потребность в 100 раз (до **~ 5 тонн галлия** при равной площади подложек).