

# От идеи до реализации: российскому кристаллу быть!

**Сергей Санько,**  
начальник 110 отдела  
АО «НИИПП»,  
**Максим Воротников,**  
инженер-конструктор  
110 отдела АО «НИИПП»,  
**Максим Майбах,**  
инженер-конструктор  
110 отдела, АО «НИИПП»  
**Татьяна Нараева,**  
специалист по связям  
с общественностью АО «НИИПП»



**С момента своего основания Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов является предприятием полного цикла, от идеи до выпуска готовой продукции.**

Основная направленность предприятия — разработка и производство полупроводниковых приборов на основе арсенида галлия, но в настоящее время активно ведутся разработки на основе карбида кремния и нитрида галлия.

Сегодня АО «НИИПП» выпускает довольно широкую номенклатуру полупроводниковых изделий, но полупроводниковые кристаллы были и остаются базовой тематикой разработчиков института. Более того, сейчас, когда вопрос о технологическом суверенитете нашей страны стоит так остро, особенно важно обеспечивать отечественных производителей собственной полупроводниковой продукцией.

В связи с этим с сентября 2022 года АО «НИИПП» приступило к реализации комплексного проекта «Разработка линейки кристаллов на основе нитрида галлия и светодиодов», в рамках которого проводятся работы по созданию светоизлучающих кристаллов на основе нитрида галлия планарной и flip-chip-конструкции. Достигнутые параметры макетов светоизлучающих кристаллов в ходе выполнения комплексного проекта приведены в таблице 1.

Проект получил финансирование от Минпромторга, и сроки его реализации рассчитаны до 2029 года. Плановый срок окончания разработки кристаллов — конец 2026 года,

и с 2027 года планируется реализация разработанных кристаллов конечному потребителю.

По разработкам ранних лет АО «НИИПП» традиционно сотрудничает с отечественными производителями эпитаксиального материала, но в рамках реализации комплексного проекта требуется эпитаксиальный материал на основе нитрида галлия производство которого на территории РФ отсутствует. Тем не менее АО «НИИПП» сотрудничает с институтами занимающимися разработкой полупроводниковых материалов, и в результате совместной работы изготовлены образцы синих излучающих кристаллов, значительно усту-

Таблица 1. Параметры макетов светоизлучающих кристаллов

Тип конструкции	Постоянный прямой ток $I_{пр}$ , мА	Постоянное прямое напряжение $U_{пр}$ , В	Мощность излучения $P_e$ , мВт	Длина волны максимума излучения $\lambda_{max}$ , нм
Планарный	150	3,1–3,2 (2,6–3,1)*	140 (230–300)*	445–465
Flip-chip	350	3,4–3,7 (2,8–3,4)*	250 (630–730)*	

Примечание. \*В скобках приведены параметры кристаллов согласно техническому заданию на комплексный проект.

пающих по параметрам кристаллам изготовленным на основе импортных эпитаксиальных структур.

НИИПП открыто к сотрудничеству и готово объединить усилия для достижения импортонезависимости в сфере светотехники с отечественными компаниями, способными включиться в проект и предоставить высокоэффективный эпитаксиальный материал.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛА ПЛАНАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Планарная конструкция кристаллов является самой распространенной из-за относительной простоты процесса производства. У кристаллов данной конструкции омические контакты к *n*- и *p*-слоям структуры расположены на поверхности, через которую выводится излучение, однако это приводит к отражению части сгенерированного излучения активной областью в приконтактных слоях.

Изготовление светоизлучающих кристаллов синего цвета осуществляется на основе эпитаксиальной структуры нитрида галлия, выращенной на сапфировой подложке. В результате роста эпитаксиальной структуры верхним, завершающим слоем является *p*-слой нитрида галлия. Таким образом, для того чтобы получить доступ к *n*-слою нитрида галлия, необходимо удалить все

вышележащие слои, в частности слой квантовых ям (рис. 1 а).

Для эпитаксиальных структур InGaN/GaN/сапфир, толщина *p*-слоя составляет  $(0,1 \div 0,2)$  мкм. Данный слой обладает высоким сопротивлением, что ухудшает растекание тока по структуре. Для решения этой проблемы используется слой ITO (оксид индий-олова), обладающий хорошей прозрачностью и низким удельным сопротивлением. Использование слоя ITO в качестве омического контакта к *p*-слою должно обеспечить однородное распределение тока по всей рабочей площади излучающего кристалла, что приводит к однородному распределению излучения, а также уменьшает пиковое значение локальных перегревов по площади и как следствие увеличивает надежность разрабатываемых кристаллов (рис. 1 б). После этого выполняется одновременное формирование омического контакта к *n*-слою и металлических дорожек на пленке ITO для равномерного распределения потенциала на кристалле. (рис. 1 в). Далее проводится защита кристалла слоем диэлектрика и формируются контактные площадки для более удобного проведения процесса разварки в корпусе светодиода (рис. 1 г). Затем вокруг кристалла проводится травление слоев нитрида галлия до сапфира (рис. 1 д). Далее на обратную сторону кристалла нано-

сится отражающий слой и осуществляется резка пластины на кристаллы (рис. 1 е).

На рис. 2 представлен внешний вид изготовленного в АО «НИИПП» кристалла планарной конструкции размером  $575 \times 1025$  мкм.

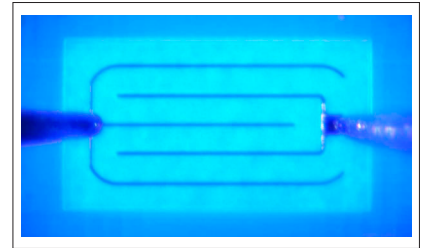


Рис. 2. Внешний вид кристалла планарной конструкции

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛА FLIP-CHIP КОНСТРУКЦИИ

Основное отличие кристалла flip-chip-конструкции от планарной конструкции кристалла предполагает обратный монтаж, при этом улучшается отвод тепла от *p-n*-перехода, а также излучение выводится через обратную сторону кристалла — прозрачную сапфировую подложку, что исключает отражение излучения в приконтактных областях и, соответственно, увеличивает внешний квантовый выход.

Изготовление кристалла начинается с формирования мезы — трав-

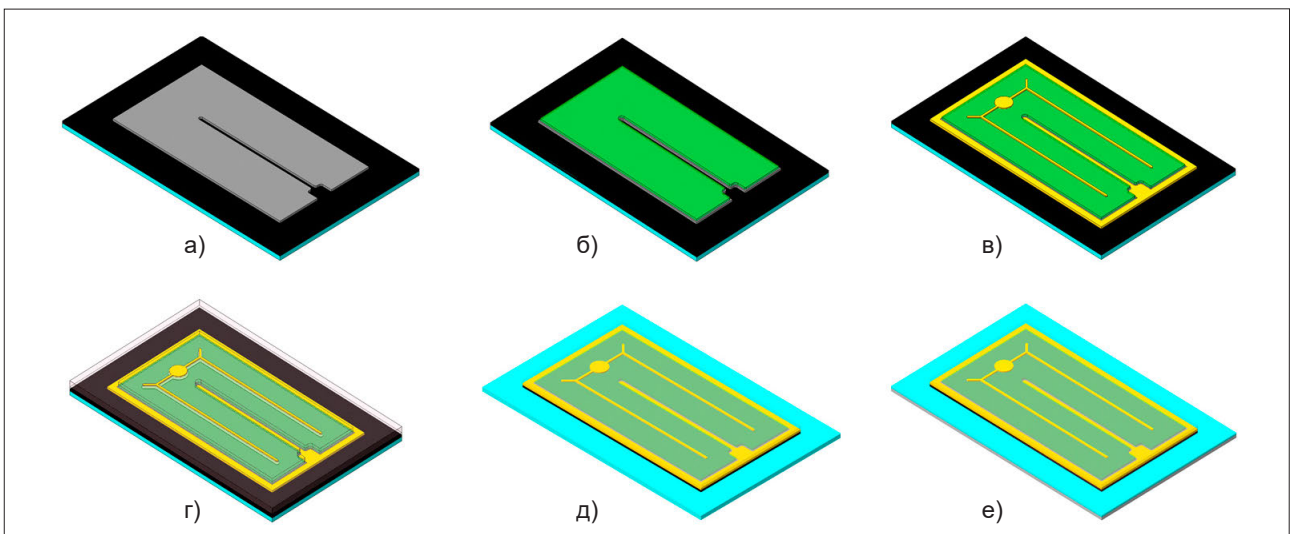
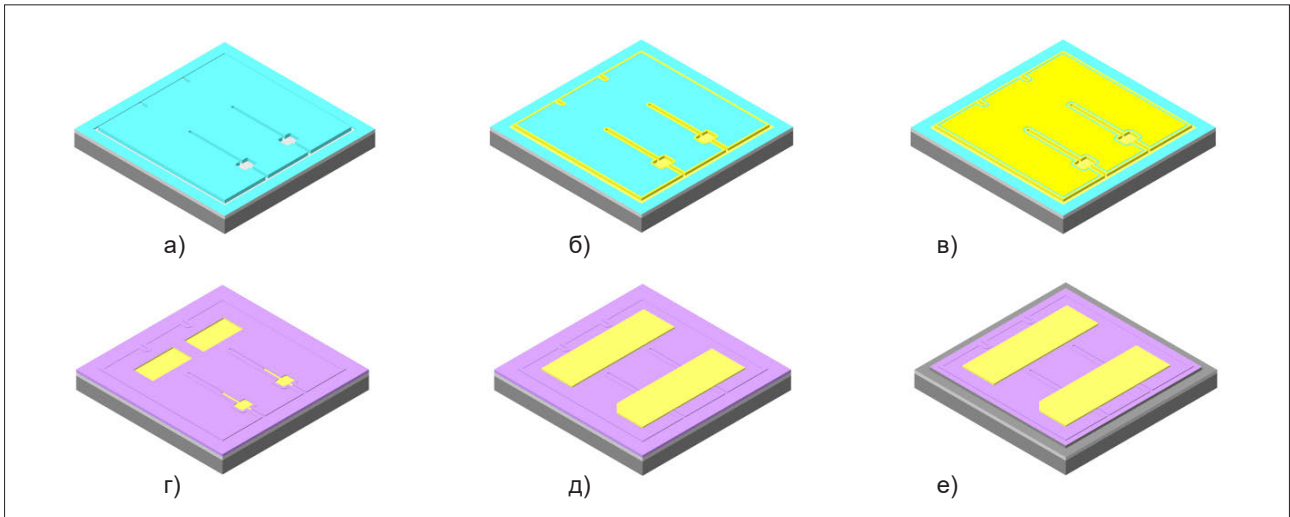


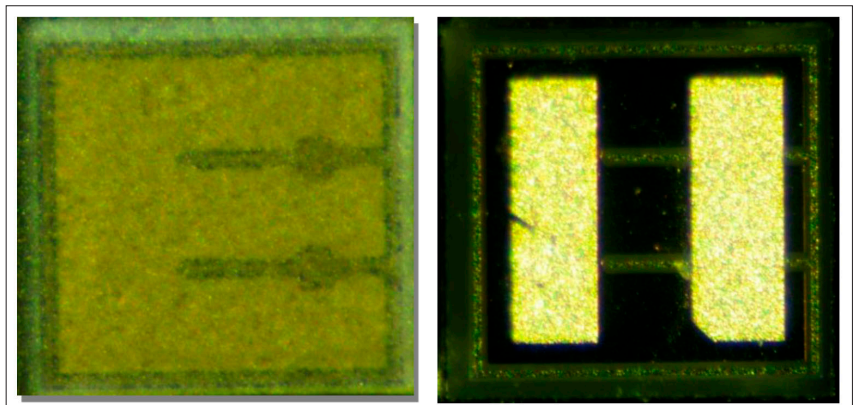
Рис. 1. Технологический маршрут изготовления кристалла планарной конструкции: а) слой квантовых ям; б) однородное распределение тока по всей рабочей площади излучающего кристалла; в) одновременное формирование омического контакта к *n*-слою и металлических дорожек на пленке ITO; г) защита кристалла слоем диэлектрика и формирование контактных площадок; д) слоев нитрида галлия до сапфира; е) резка пластины на кристаллы



**Рис. 3.** Технологический маршрут изготовления кристалла flip-chip: конструкции: а) травления верхних слоев нитрида галлия до *n*-слоя; б) формирование омического контакта к *n*-слою; в) формирование отражающего контакта к *p*-слою на основе никеля и серебра; г) защитный слой диэлектрика; д) формирование контактных площадок; е) травление до сапфира и резка пластины на отдельные кристаллы

ления верхних слоев нитрида галлия до *n*-слоя (рис. 3 а). Затем происходит формирование омического контакта к *n*-слою (рис. 3 б). Контакт к *p*-слою InGaN формируется сплошным, следовательно, контакт должен обладать отражающими свойствами. В качестве отражающего слоя используется слой никеля и серебра (рис. 3 в). Далее на поверхность кристалла наносится защитный слой диэлектрика, в котором вскрываются окна для доступа к контактам (рис. 3 г). После этого выполняется формирование контактных площадок (рис. 3 д) — травление до сапфира и резка пластины на отдельные кристаллы, (рис. 3 е).

На рис. 4 показан внешний вид flip-chip-конструкции размером 1140×1140 мкм.



**Рис. 4.** Внешний вид кристалла flip-chip-конструкции

**СПРАВКА:**

**Акционерное общество «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (АО «НИИПП»)** — одно из ведущих предприятий госкорпорации «Ростех», обладающее самым современным оборудованием. НИИПП основан в Томске в 1964 году, а в 1967-м на его базе заработал завод по серийному выпуску полупроводниковых приборов. В институте налажен полный цикл от разработки до выпуска готовых изделий. Предприятие производит продукцию для ВПК и радиоэлектронную продукцию гражданского назначения: оптоэлектронику и светотехнику (светодиоды ИК и видимого диапазона длин волн, полупроводниковые лампы и светотехнические устройства, светодиодные светильники, речную светотехнику, светосигнальные приборы и т. д.); дискретные полупроводниковые приборы; монолитные и гибридные интегральные

схемы; изделия СВЧ-электроники; медицинскую технику; промышленную электронику.



С полным перечнем продукции и услугами предприятия можно ознакомиться на сайте АО «НИИПП» [www.niipp.ru](http://www.niipp.ru).