

окисление. Проблема диффузионного легирования связана с низкими коэффициентами диффузии в GaN таких основных примесей, как Al, Mg, Si. Данная проблема также усугубляется максимально допустимой температурой процессов. Gallium начинает испаряться с поверхности GaN уже при температурах выше 900 °С, а при превышении 1250 °С наблюдается катастрофическая деградация материала. Кроме того, имеет ряд ограничений процесс ионного легирования структур, поскольку даже при максимально допустимой температуре процессов 1250 °С не может быть получена полная активация имплантированной примеси. Основным способом формирования легированных GaN-структур является послойное эпитаксиальное наращивание.

Наибольшее распространение в настоящее время в качестве материала подложек нитридной эпитаксии получили сапфир ( $Al_2O_3$ ), карбид кремния (SiC) и кремний (Si).

В республике Беларусь проводятся работы по совершенствованию технологии изготовления приборов силовой электроники на основе GaN, что подтверждается публикациями [3].

#### Литература

1. Основы силовой электроники / А. И. Белоус [и др.]. – М.: Техносфера, 2019. – 424 с.
2. Макушин, М. Тенденции развития силовой электроники / М. Макушин. – ЭЛЕКТРОНИКА наука | технология | бизнес. – 2019. – № 8 (00189). – С. 50–55.
3. Юник, А. Д. Влияние температуры быстрого термического отжига на электрофизические свойства омического контакта металлизации Ti/Al/Ni к гетероструктуре GaN/AlGaIn / А. Д. Юник, Я. А. Соловьёв, Д. В. Жигулин // Доклады БГУИР. – 2022. – Вып. 20, № 3. – С. 13–19.

УДК 621.3

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВНУТРИКОРПУСНОЙ ВЛАГИ

Магистрант Некрашевич Д. А.<sup>1</sup>

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Интеграл», Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Сборка ИМС характеризуется многообразием используемого оборудования и применением различных материалов с малыми толщинами, поэтому операции сборки являются наиболее трудоемкими в техпроцессе изготовления ИМС. Если в процессах создания кристаллов применяются групповые методы обработки, то при сборке необходимо производить операции с каждым изделием отдельно. При этом основные параметры процесса сборки – температура нагрева, выдержка, удельное давление – должны быть минимально возможными, чтобы не повредить элементы микросхемы.

Герметизация ИМС в металлокерамических корпусах осуществляется для защиты активной структуры от внешней атмосферы путем присоединения крышки к металлическому ободку основания корпуса методом контактной шовно-роликовой сваркой. Операция выполняется в контролируемой инертной атмосфере с избыточным давлением +200 Па и точкой росы – 63 °С, что соответствует влажности 0,04 об. %. Технологические проемы в камере для доступа и манипуляций оператора снабжены газонепроницаемыми рукавами, исключающими доступ в скафандр внешней атмосферы. Таким образом, обеспечивается локальная среда, необходимая для обеспечения низкого содержания влаги в подкорпусном объеме ИМС. Однако заполнение подкорпусного объема ИС атмосферой скафандра в процессе герметизации не всегда обеспечивает требования по содержанию влаги в подкорпусном объеме ИС (<0,05 об. %), при проведении испытаний содержание влаги в отдельных ИС превышает допустимое содержание влаги в подкорпусном объеме. Образование избыточной влаги в подкорпусном объеме ИС возможно только при наличии внутренних источников влаги и не полном удалении влаги из этих источников на стадии термообработки.

Дополнительные исследования, выполненные специалистами ОАО «Интеграл» выявили источники и механизмы образования избыточной влаги при проведении испытаний ИС, а именно: наличие капилляров в керамике и отвержденном клее. Над поверхностью пор, содержащих конденсированную влагу, создается избыточное давление по капиллярному механизму, которое

препятствует полному удалению из них ранее конденсированной влаги при нагреве в условиях атмосферного давления (в нормальных условиях).

Испытания на содержание подкорпусной влаги проводятся при температуре 100 °С под вакуумом. Это обеспечивает более полное удаление ранее конденсированной влаги из капилляров и попадание ее в масс-спектрометр, что и фиксируется прибором. Из этого следует, что перед герметизацией ИМС необходимо проводить вакуумную сушку. Данная технологическая операция компенсирует избыточное давление над поверхностью капилляров (давление Лапласа) и уменьшает температуру кипения воды. При построении процесса вакуумной сушки необходимо учесть конструктивные особенности и структуру ИМС.

По результатам анализа литературных источников по проблемам снижения влаги в подкорпусном объеме ИС в металлокерамических корпусах было установлено, что в качестве внутренних источников избыточной влаги в герметичных корпусах являются керамика корпуса и клей, используемый для монтажа кристаллов. Объем клеевого шва имеет развитую систему каналов диаметром 2-4 мкм, образованных выходящими из клея летучими веществами при его полимеризации. Для эффективного удаления конденсированной влаги из таких каналов целесообразно использовать концентрированные безынерционные источники энергии инфракрасных волн.

УДК 621

## ПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЛОИДНЫЕ СТРУКТУРЫ

Студент гр. 11310121 Осокин Д. И.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью научной работы является изучение периодических коллоидных структур. В этой научной работе проведен анализ обзора литературных источников в области периодических коллоидных структур.

*Периодические коллоидные структуры (ПКС)* – тиксотропные гели и гелеобразные системы. Образование периодических коллоидных структур объясняется теорией устойчивости гидрофобных зольей. Следствием этой теории является взаимодействие дисперсных частиц в коллоидном растворе. Их взаимодействие можно отобразить на графике (рис. 1). Если тепловая энергия в разы превышает глубину дальнего минимума, тогда происходит взаимодействие двух частиц. Между ними находится расстояние, равное 100 нм.

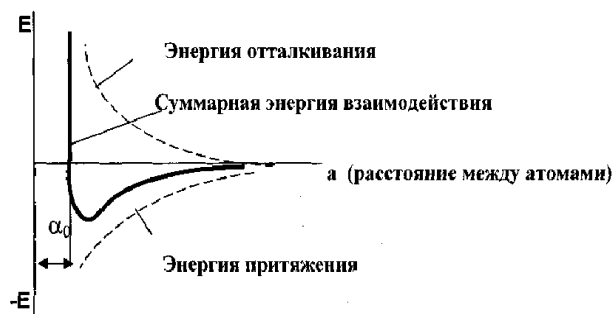


Рис. 1. Зависимость энергии взаимодействия от расстояния между атомами

Частицы, попавшие в потенциальные ямы, не имеют возможности сблизиться или удалиться друг от друга. ПКС образуются в случае если к атомам, попавшим в потенциальные ямы, присоединяются другие атомы. Коллоидные осадки называют гелями. Гели не имеют свойств текучести, но они упруги, пластичны, способны сохранять форму, обладают определенной механической прочностью.

Характерной особенностью ПКС являются – ее структурные элементы, которые имеют определенную степень упорядоченности в расположении.

ПКС являются пластичными или квазипластичными. Им присущи такие свойства как прочность, упругость, пластичность и вязкость.