



Рис. 1. Схема калориметра: 1, 2 – стаканы, 3 – крышка, 4 – термометр, 5 – воронка, 6 – мешалка

Итоги калориметрических измерений находят обширное практическое использование в теплотехнике, металлургии, химической технологии. Калориметрия широко применяется в областях термохимии для расчета энтальпии, стабильности, теплоемкости. Калориметрические измерения позволяют определять области устойчивости разнообразных минералов и выяснять условия совместного присутствия их в горных породах.

#### Литература

1. Хеммингер, В. Калориметрия. Теория и практика / В. Хеммингер, Г. Хёне. – М.: Химия, 1984. – 176 с.

УДК 621.382

### ОСОБЕННОСТИ СИЛОВЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ GaN

Магистрант гр. 61315022 Литвинова А. В.

Кандидат техн. наук, доцент Ефименко С. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Силовые полупроводниковые приборы развиваются за счет уменьшения базовой стоимости, расширения диапазона рабочих температур, увеличения срока службы, уменьшения статических и динамических потерь, увеличения предельного значения изменения тока и напряжения, повышения надежности прибора и долговечности компонентов в аварийных режимах, а также повышения радиационной стойкости. Результат решения указанных проблем неразрывно связан с совершенствованием технологии, а значит, в среднем каждые 20 лет появляется новое поколение силовых приборов: 1970–1990 годы – кремниевые MOSFET и тиристоры, 1990–2010 годы – кремниевые IGBT, 2010 и следующие годы – силовые SiC- и GaN-приборы [1]. Использование мощных GaN- или SiC-транзисторов может привести к более простым и эффективным решениям для преобразования и хранения энергии [2].

Изготовление мощных полупроводниковых приборов обычно происходит с использованием таких перспективных материалов как: GaAs, SiC, алмаз, однако нитрид галлия является предпочтительным, поскольку он демонстрирует более высокие характеристики приборов на его основе с относительно низкой себестоимостью производства. Одной из лучших характеристик нитрида галлия при изготовлении мощных приборов силовой электроники является способность производить гетероструктурные полевые транзисторы AlGaIn/GaN с низким сопротивлением в открытом состоянии ( $R_{dsON}$ ), что обеспечивает уменьшение рассеиваемой мощности прибором, создание источников питания с более высоким КПД.

Приборные структуры силовой электроники на основе нитрида галлия имеют по сравнению с кремниевыми более высокие блокирующие напряжения, большую плотность рассеиваемой мощности, меньшие значения  $R_{dsON}$ , лучшие частотные характеристики, более высокую радиационную стойкость и рабочую температуру. В настоящее время есть результат работы полевых транзисторов на основн GaN при температуре 300 °С, а также при 1000 °С в вакууме [1].

По сравнению с традиционной кремниевой технологией при формировании GaN-структур становятся недоступными такие технологические операции, как диффузия примесей и

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