

УДК 621.311

GAN – ТРАНЗИСТОРЫ GAN – TRANSISTORS

А.С. Шенец, П.Д. Кагочкин

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

piakarchyk@bntu.by

A. Shenets, P. Kagochkin

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В данной статье рассмотрен принцип действия транзистора на основе нитрида галлия. Описаны преимущества использования данного транзистора, его свойства и сферы применения.

Abstract: This article discusses the principle of operation of a transistor based on gallium nitride. The advantages of using this transistor, its properties and applications are described.

Ключевые слова: транзистор, нитрид галлия, электрические свойства, надежность.

Keywords: transistor, gallium nitride, electrical properties, reliability.

Введение

GaN — это методика изготовления транзисторов с применением нитрида галлия. Транзистор на основе нитрида галлия (GaN – транзистор) является полупроводниковым элементом с высокой подвижностью электронов (HEMT). Включает в себя три вывода — затвор, исток и сток. Высокая степень подвижности электронов говорит о том, что GaN – транзистор имеет большую напряженность электрического поля в сравнении с транзисторами на основе кремния.

Основная часть

Преимуществами данных транзисторов считаются низкое сопротивление в открытом состоянии, небольшие потери проводимости и потери переключения, высокочастотное переключение, высокий КПД, малый форм-фактор, более высокая плотность мощности и устойчивость к высоким температурам.

Рассмотрим простейшую классическую ячейку GaN-транзистора, которая представлена на рисунке 1 [1]. На кремниевой подложке образуется защитный слой AlN. На нем возникает гетероструктура GaN/AlGaIn. Далее выстраиваются защитный диэлектрический слой и электроды.

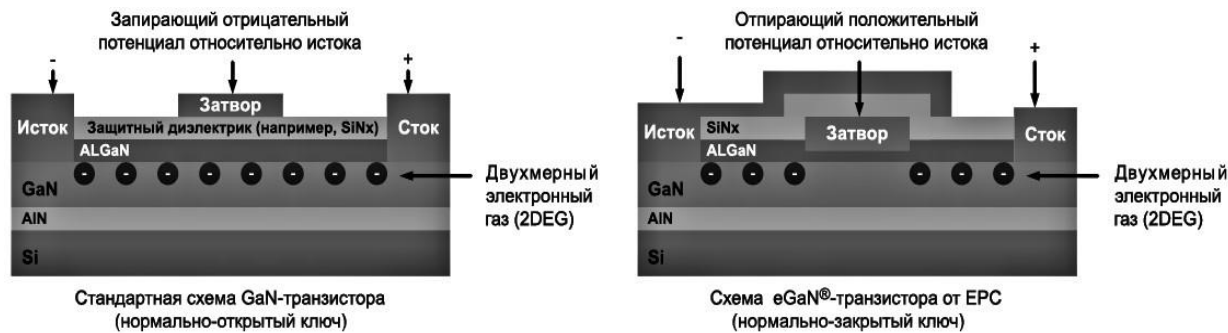


Рисунок 1 - Ячейка GaN-транзистора

GaN и AlGaN имеют полярную природу. В связи с этим, уже в процессе роста на их границе протекает самопроизвольная поляризация с возникновением поверхностных зарядов. Помимо этого, GaN имеет выраженные пьезоэлектрические свойства. Под воздействием деформации и механических напряжений он дополнительно поляризуется. Поскольку решетки GaN и AlGaN имеют рассогласование, то такие напряжения непременно возникают на границе раздела их сред.

В итоге процесс поляризации способствует образованию заряда в виде двумерной плоскости (двухмерный электронный газ, 2DEG).

Если на электроды стока и истока данной ячейки подать напряжение, то станет проходить ток даже при том, что напряжение на затворе равно нулю. Поэтому можно сказать, что данный прибор является нормально открытым.

Для того, чтобы остановить протекание тока на затвор, нужно подать отрицательное напряжение по отношению к истоку (рисунок 1).

Определенно данный транзистор не совсем удобен в использовании. Во-первых, чтобы не произошло выгорание схемы, необходимо до включения основного питания организовать выключение транзистора. Во-вторых, необходимо иметь вспомогательный источник отрицательного напряжения.

Стоит сказать о том, что рассмотренная структура имеет весьма примитивный вид. На деле же она достаточно сложная.

Для более рационального отвода тепла от GaN слоя требуется наличие подложки, но все классические материалы (например, Si, SiC, сапфир) имеют расхождение кристаллических решеток с GaN. Поэтому, чтобы понизить механические напряженности, вводят специальные связующие слои. Таким же образом добавляются и слои между другими различными материалами ячейки. В результате получается сложная структура.

Трудности добавляет тот факт, что конечных решений данной проблемы нет и нужно проводить дорогостоящие исследования для нахождения наиболее соответствующих материалов, толщины слоев и прочее [1].

Типы GaN - транзисторов:

Транзисторы на основе GaN делятся на два вида: силовые транзисторы на основе GaN с улучшенным режимом (e-GaN) и силовые транзисторы на основе GaN в режиме истощения (d-GaN).

В расширенном режиме GaN-транзистор эквивалентен «нормально открытому» переключателю (обычно выключенному). Это говорит о том, что когда на клемму затвора не подается напряжение, GaN-транзистор не проводит (выключен). Он включается подачей положительного напряжения затвор-исток.

В режиме истощения GaN-транзистор эквивалентен «нормально закрытому» переключателю (нормально включенному). Это показывает, что транзистор находится во включенном состоянии при нулевом напряжении затвор-исток. Выключается подачей отрицательного напряжения относительно электродов стока и истока [2].

Сферы применения:

Устройства на основе GaN имеют значительные преимущества по сравнению с другими полупроводниковыми технологиями: снижение затрат на энергию, так как GaN эффективнее, чем кремний, поэтому, меньшее количество энергии рассеивается в виде тепла, что обеспечивает меньшие затраты на охлаждение и меньшее количество систем охлаждения (например, радиаторы, вентиляторы).

Достаточно быстрое внедрение мощных транзисторов и интегральных схем на основе GaN было обусловлено преимуществом скорости GaN по сравнению с кремнием. Транзисторы GaN-on-Si переключаются примерно в 10 раз быстрее, чем MOSFET, и в 100 раз быстрее, чем IGBT. Приложения отслеживания радиочастотных огибающих для базовых станций 4G/LTE и системы обнаружения и определения дальности света (лидары) для автономных автомобилей, роботов, дронов и систем безопасности стали первыми массовыми приложениями, которые в полной мере использовали возможности высокоскоростной коммутации GaN.

GaN-транзисторы были не только быстрее, чем Si MOSFET и IGBT, но и намного меньше — примерно в 5–10 раз. Это дало толчок в развитии многих приложений в робототехнике и медицинской электронике, в космических спутниках и дронах.

Приборы на основе нитрида галлия широко применяются в космосе, поскольку нитрид галлия по своей природе устойчив к радиации. В отличие от кремния, при использовании которого для защиты полупроводников от воздействия радиации необходимы специальные технологии изготовления и специальная упаковка, природные свойства GaN делают его достаточно невосприимчивым к этим вредным лучам. GaN-транзисторы используются в ионных двигателях, для преобразования энергии от солнечных панелей спутников, в высокоточных двигателях BLDC повышенной прочности для привода реактивных колес, а также в робототехнике и автоматизированных приборах, используемых в космических миссиях, для определения дальности с использованием лидара.

Использование нитрида галлия способствует развитию возобновляемой энергетики. Для ускорения распространения возобновляемых источников энергии, необходимо добиться более эффективного преобразования, увеличения емкости хранения энергии и снижения затрат без ущерба для долгосрочной надежности. Энергетические решения на основе GaN позволяют солнечным микроинверторам, оптимизаторам и системам накопления энергии, используе-

мым для солнечной энергетики, повышать эффективность и уменьшать размер и стоимость, обеспечивая при этом непревзойденную надежность [3].

Заключение

В настоящее время, GaN-транзисторы и материал из нитрида галлия более эффективны и надежны, несмотря на то, что они меньше и легче. С ростом цифровизации и развитием многих технологий эти преимущества позволяют внедрять передовые инновации. Высокая скорость переключения, высокая удельная мощность, более высокая эффективность при меньшем форм-факторе и невероятная надежность — вот лишь некоторые из них.

Литература

1. Нитрид-галлиевые транзисторы [Электронный ресурс]/ нитрид-галлиевые транзисторы. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/71931>. – Дата доступа: 10.03.2022.
2. Что такое GaN-транзисторы [Электронный ресурс]/ что такое GaN-транзисторы. – Режим доступа: <https://www.everythingpe.com/community/what-is-a-gan-transistor>. – Дата доступа: 10.03.2022.
3. Сферы использования GaN-транзисторов [Электронный ресурс]/ сферы использования GaN-транзисторов. – Режим доступа: <https://epc-co.com/epc/gallium-nitride/where-is-gan-going>. – Дата доступа: 10.03.2022.