



ВЫРАЩИВАНИЕ ВЫСОКОСОВЕРШЕННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР III-N

А.Алексеев¹, Д.Красовицкий², С.Петров¹, В.Чалый²
kurnosova@semiteq.ru

ЗАО «НТО» (SemiTEq) – лидирующий российский производитель установок молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) для выращивания материалов в системах InAlGaN (III-N), InAlGaAs, широкозонных соединений A^2B^6 , других гетероструктур. В работе представлены результаты по использованию для выращивания гетероструктур системы III-N специализированной установки МЛЭ STE3N2. Ее уникальные особенности – расширенный диапазон температур подложки (до 1200°C) и отношений V/III. На основе полученных гетероструктур созданы мощные полевые транзисторы с рекордными для России параметрами.

Благодаря уникальным свойствам нитриды металлов третьей группы (III-N) перспективны для изготовления на их основе оптоэлектронных и электронных приборов. Ширина запрещенной зоны таких прямозонных полупроводников перекрывает весь видимый и значительную часть УФ-диапазона, что делает возможным создание оптоэлектронных приборов, работающих в указанных областях спектра. Высокие пробивные поля, термическая и радиационная стойкость, ярко выраженные поляризационные эффекты делают их привлекательными при изготовлении мощных СВЧ-транзисторов и изделий высокотемпературной сильноточной электроники. Кроме того, такие нитриды перспективны для создания элементов электроники, работающих на поверхностных акустических волнах.

При выращивании материалов III-N существует ряд проблем, основная из которых – отсутствие дешевых и согласованных по параметру решетки подложек. Гетероэпитаксия нитридов на подложки, рассогласован-

ные по кристаллографическим параметрам с такими соединениями, несмотря на применение на начальных стадиях роста специальных процедур, приводит к достаточно высокой плотности дислокаций, что усложняет задачу получения качественных приборных гетероструктур.

Авторами выращена многослойная нитридная гетероструктура (МГС) на подложках сапфира и полуизолирующего карбида, разработанная в ЗАО «Светлана-Рост». Выращивание на начальной стадии роста «толстых» (более 200 нм) слоев AlN при экстремально высокой для МЛЭ температуре (1100–1150°C), а затем создание переходных областей между слоями разного состава (включая сверхрешетки) обеспечило улучшение свойств всей МГС AlN/AlGaN/GaN и слоя GaN, в частности.

Это позволило понизить плотность дислокаций в GaN на 1,5–2 порядка по сравнению с выращиванием на традиционном зародышевом слое AlN, что обеспечило значительное увеличение подвижности электронов в слоях GaN. Максимальная подвижность электронов в слаболегированном GaN толщиной 1,5 мкм составляет 600–650 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ при

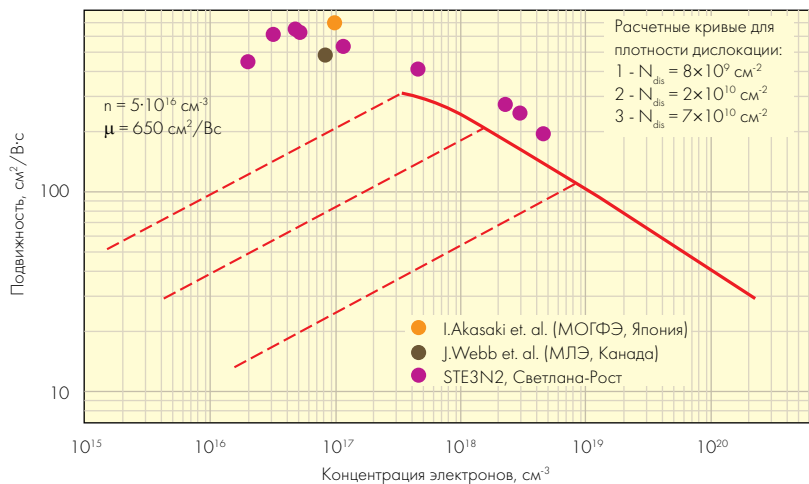
их концентрации $3\text{--}5\cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, что соответствует лучшим значениям, достигнутым в мире и свидетельствует о высоком кристаллическом совершенстве материала (см. рисунок).

Модификация конструкции и содержания алюминия в верхнем барьерном слое AlGaIn в МГС AlN/AlGaIn/GaN/AlGaIn для мощного полевого транзистора позволила изменять подвижность электронов и слоевую концентрацию в двумерном электронном газе, образованном на верхней гетерогранице GaN/AlGaIn, в диапазоне $1300\text{--}1700 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{c}$ и $1,0\text{--}1,8\cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, соответственно. Это обеспечило возможность контролируемо варьировать слоевое сопротивление в диапазоне 230–400 Ом/ед. пл. Подобные значения электрофизических параметров двумерного электронного газа соответствуют современному мировому уровню и рекордные для России. Шероховатость поверхности полученных гетероструктур также соответствует лучшим значениям для нитридных слоев, выращенных методом МЛЭ на сапфире (rms 1–2 нм).

На разработанных конструкциях гетероструктур реализованы тестовые транзисторы с длиной затвора 0,5 мкм, демонс-

¹ ЗАО «НТО», С.-Петербург.

² ЗАО «Светлана-РОСТ», С.-Петербург.



Зависимость подвижности электронов от их концентрации в слое GaN (оранжевый – метод МОГФЭ [1], коричневый – метод МЛЭ [2], малиновый – установка STE3N2 при наличии многослойного буферного слоя AlN/AlGaIn/GaN), 1–3 – теоретические зависимости подвижности электронов в GaN от плотности дислокаций [3]

трирующие статические параметры мирового уровня (ток сток-исток 1 А/мм, крутизна 200 мС/мм, пробивное напряжение более 150 В) и малосигнальные s-параметры (f_t до 20 ГГц,

f_{max} до 55 ГГц), подтверждающие перспективность использования таких гетероструктур для элементной базы X-диапазона.

На гетероструктурах, выращенных на подложках карбида

кремния, реализованы широкополосные усилители, работающие в диапазоне 30 МГц – 4,0 ГГц с коэффициентом усиления 17–25 дБ, выходной мощностью 2,5 Вт и КПД 30%. Кроме того, получены усилители мощности С-диапазона с выходной мощностью 10 Вт, продемонстрировавшие долговременную стабильность параметров в течение более 3,5 тыс. ч при 85°C.

Работа проводилась в рамках госконтракта №02.523.11.3019 при поддержке Министерства образования и науки РФ.

Литература

1. I.Akasaki and H.Amano, Jpn. – J. Appl. Phys. 45, 9001, 2006.
2. James B. Webb, H. Tang, J.A. Bardwell, S. Moisa, C. Peters, T. MacElwee. – Journal of Crystal Growth 230, 584, 2001.
3. H.M. Ng, D. Doppalapudi, T.D. Moustakas, N.G. Weimann, and L.F. Eastman. – Appl. Phys. Lett., 73, 821, 1998.

ПРИОРИТЕТЫ РАН В НАНОИНДУСТРИИ СИБИРЬ И ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

В 2010 году институты провели ряд исследований по нанотехнологической проблематике.

Институт физики полупроводников СО РАН – на сверхпроводящих наноперфорированных пленках TiN с количеством элементов 780 тыс. и периодом 80 нм выявлены зависимости дифференциального сопротивления от приложенного напряжения.

Институт теоретической и прикладной механики (ИТПМ) им. С.А.Христиановича СО РАН и *Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН* – исследовано воздействие диффузионных и тепловых процессов на последовательности и скорость многостадийного химического выделения водорода из метанола и метана в присутствии воды при

активировании реакций в микрочанале композитной средой с наночастицами.

Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН – установлены пространственное распределение плотности, вектора массовой скорости и давления, динамика формирования наночастиц углерода в детонационной волне.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН – обосновано существование двухфазных наноструктурных состояний в конденсированных средах, возникающих в сильно неравновесных твердых телах вблизи нуля термодинамического потенциала Гиббса как предпереходные состояния «нанокристаллы – аморфные прослойки».

Институт неорганической химии им. А.В.Николаева

СО РАН – изучено формирование наносплавов при низкотемпературном разложении соединений-предшественников в различных условиях.

Институт материаловедения Хабаровского научного центра ДВО РАН – исследованы физико-химические основы получения композиционных металлических наноматериалов с заданными свойствами и кинетика измельчения порошков.

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН – для жидкого гетерофазного нанокompозита на основе наночастиц Al₂O₃ изучено низкочастотное коллинеарное нелинейно-оптическое взаимодействие световых лучей с разными длинами волн, экспериментально обоснована физическая модель их взаимодействия.

Л.Раткин