

# ВЛИЯНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ AlGaN/GaN 2D-КАНАЛА СТОК-ИСТОК GaN ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА НА ЕГО ПРИБОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (латеральный размерный эффект)

Торхов Н. А., Божков В. Г.

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов  
ул. Красноармейская, 99 А, г. Томск, 634034, Россия  
тел.: 83822-556695, e-mail: trkf@mail.ru

**Аннотация** — Было показано [1, 2], что в локальном приближении фрактальные свойства 2D-электронного газа AlGaN/GaN гетероструктур, определяющие зависимость погонного сопротивления  $\rho$  от длины  $l$  и ширины  $d$  канала сток-исток HEMT-транзистора значительно влияют на его приборные характеристики: сопротивление сток-исток  $R_{SD}$ , напряжение теплового пробоя  $U_H$  и крутизну  $G_M$ . Все это говорит о том, что при проектировании мощных HEMT-транзисторов на AlGaN/GaN необходимо учитывать фрактальные свойства материала. Из полученных результатов следует, что для материала с меньшими значениями предела локального приближения  $L$  максимальные значения приборных характеристик можно получать при меньших линейных размерах активных элементов транзисторов.

## I. Введение

Было показано [1, 2], что погонное сопротивление  $\rho$  2D-канала сток-исток HEMT-транзистора на основе AlGaN/GaN гетероструктуры в локальном приближении зависит от его линейных размеров: длины  $l$  и ширины  $d$  - и при их уменьшении меньше значения предела локального приближения  $L$  (для данной гетероструктуры  $L=60$  мкм) может увеличиваться более чем на порядок. Данный факт подтверждает фрактальную природу этого эффекта, определяемую фрактальной геометрией гетероэпитаксиальных слоев. Напомним, что одними из основных параметров характеризующих фрактальные объекты являются фрактальная размерность  $D_f$  и скейлинговые коэффициенты  $n$  и  $r$  [3]. В [2] было показано, что электроны в 2D-канале движутся не в двумерной, а в трехмерной плоскости, что приводит к их дополнительному рассеянию на неровностях 2D-канала (рис. 1) и увеличению его погонного сопротивления  $\rho$ . Так как неровности гетероэпитаксиальных слоев имеют фрактальную геометрию, то и рассеяние на них электронов, а, следовательно, и погонное сопротивление 2D-канала также должны иметь фрактальные свойства — зависеть от линейных размеров измеряемых объектов [1, 2].

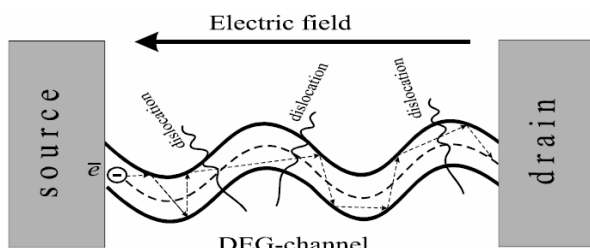


Рис. 1.  
Fig. 1.

В данной работе будет показано, каким образом фрактальность электрофизических свойств двумерного электронного газа оказывает влияние на приборные характеристики мощных HEMT-транзисторов на основе GaN.

## II. Основная часть

В работе исследовались HEMT-транзисторы изготовленные на основе эпитаксиальных AlGaN/GaN гетероструктур выращенных MOCVD-методом на полуизолирующей сапфировой (0001) подложке. Толщина буферного полуизолирующего слоя GaN составляла 2000 нм, слоя AlN - 1.5 нм, Al<sub>30</sub>Ga<sub>70</sub>N - спейсера 5 нм, высоколегированного ( $N_D > 10^{18}$  см<sup>-3</sup>) Al<sub>30</sub>Ga<sub>70</sub>N:Si n<sup>+</sup>-слоя - 15 нм, подконтактного нелегированного GaN слоя 2 нм. Концентрация электронов в двумерном (2D) электронном газе  $N_S = 1,36 \times 10^{13}$  см<sup>-2</sup>, подвижность  $\mu(T=300 \text{ K}) = 1200$  см<sup>2</sup>/(В×с), плотность дислокаций  $> 10^8$  см<sup>-2</sup>. Меза-изоляция активной области глубиной 50 нм формировалась реактивным ионным травлением по маске фоторезиста. Ширина одной секции канала сток-исток изменялась в пределах  $50 \leq d \leq 150$  мкм. Длина канала сток-исток составляла  $l=5$  мкм, а длина T-образного TiAu-затвора - 1 мкм. Омические контакты формировались методом взрывной литографии, напылением металлизации TiAlNiAu с последующим отжигом в атмосфере азота при температуре 750 °С в течение 30 секунд. Утоньшение сапфировой подложки до 110 мкм осуществлялось методом химико-динамической полировки. Для обеспечения хорошего теплоотвода на обратную сторону подложки напылялся слой V+Au. После этого лазерным скрайбированием пластина разделялась на отдельные кристаллы (рис. 2), которые припаивались на массивный теплоотвод.

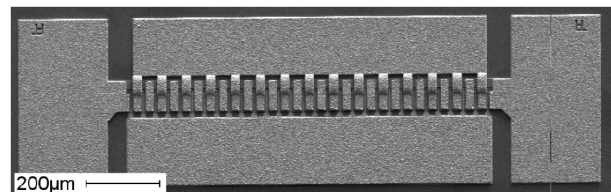


Рис. 2.  
Fig. 2.

Измерение крутизны  $G_M$  и напряжения теплового пробоя  $U_H$  изготовленных транзисторов осуществлялось на измерителе электрических характеристик "Л2-56" с использованием механических микроманипуляторов.

На рис. 3 представлены экспериментальные зависимости крутизны  $G_M(d)$  (кривая 1) и напряжения теплового пробоя  $U_H(d)$  (кривая 2) от ширины  $d$  единичной секции HEMT-транзистора. Как и следовало ожидать имеется значительный размерный эффект, заключающийся в увеличении крутизны при увеличении ширины канала больше значения предела локального приближения  $L$ . Напомним, что согласно результатам [1] увеличение ширины канала приводит к уменьшению его погонного сопротивления  $\rho$ , что определяется фрактальной геометрией обра-

зующих канал гетероэпитаксиальных слоев. Согласно общим физическим представлениям уменьшение  $\rho$  приведет к относительному уменьшению общего сопротивления сток-исток и, как следствие, к увеличению  $G_M$ . Как видно из рис. 3, кривая 1 увеличение  $d$  больше 100 мкм приводит к насыщению зависимости  $G_M(d)$ . При  $d > 150$  мкм происходит спад значений  $G_M(d)$  и поэтому они не приведены. Понятно, что увеличение крутизны ведет к увеличению выделяемой мощности. При одинаковом теплоотводе это приводит к большему разогреву кристалла и, как следствие, к значительному уменьшению напряжения теплового пробоя (рис.3, кривая 2). Место пересечения кривых 1 и 2 указывает на оптимальную для данного материала ширину канала при заданной длине  $l=5$  мкм, позволяющей добиться от НЕМТ-транзистора максимальной мощности. Следует отметить, что для других значений  $l, L, D_f, n, r$  зависимости  $G_M(d)$  и  $U_H(d)$  будут отличаться от приведенных на рис. 3.

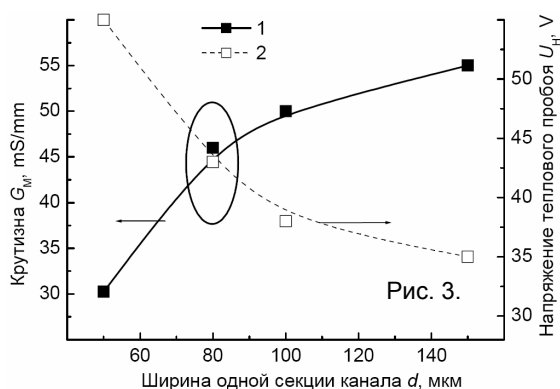


Рис. 3.

Fig. 3.

На рис. 4 представлены статические ВАХ изображенного на рис. 1 транзистора с шириной единичной секции 50 мкм и полной шириной затвора 1 мм позволяющего получать до 7 Вт/мм выходной мощности.

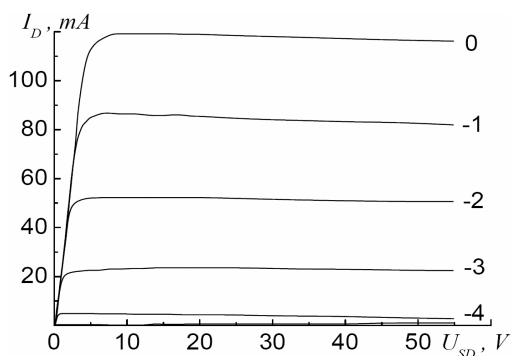


Рис. 4.

Fig. 4.

### III. Заключение

Было показано, что в локальном приближении фрактальные свойства 2D-электронного газа AlGaN/GaN гетероструктур, определяющие зависимость погонного сопротивления  $\rho$  от длины  $l$  и ширины  $d$  канала сток-исток НЕМТ-транзистора значительно влияют на его приборные характеристики: сопротивление сток-исток  $R_{SD}$ , напряжение теплового пробоя  $U_H$  и крутизну  $G_M$ . Все это говорит о том, что при проектировании мощных НЕМТ-транзисторов на AlGaN/GaN необходимо учитывать фрактальные свойства материала. Из полученных результатов следует, что для материала с меньшими значениями предела локального приближения  $L$  максимальные значения приборных характеристик можно получать при меньших линейных размерах активных элементов транзисторов.

### IV. Список литературы

- [1] Торхов Н. А., Божков В. Г. Фрактальная природа сопротивления канала сток-исток GaN гетероструктуры Полевого транзистора с двумерным электронным газом // 20-я Международная Крымская конференция "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13—17 сентября 2010 г.). Севастополь: Вебер, 2010. С. 729—730.
- [2] Торхов Н. А. Фрактальные свойства полупроводников, поверхностей, интерфейсов, гетерослоев и тонких пленок на наноровне в локальном приближении // Труды международной научно-технической конференции и молодежной школы-семинара "Нанотехнологии – 2010". Часть 1. (Дивноморское, Россия, 19—24 сентября 2010 г.). С. 42—44.
- [3] Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.

### INFLUENCE OF ALGAN/GAN 2D-CHANNEL LINEAR DIMENSIONS OF DRAIN-TO-SOURCE FIELD GAN TRANSISTOR ON ITS INSTRUMENT CHARACTERISTICS (EFFECT OF LATERAL DIMENSIONS)

Torkhov N. A., Bozhkov V. G.

Scientific-Research Institute of Semiconductors  
99 A, Krasnoarmeiskaya Str., Tomsk, 634034, Russia  
Ph.: 83822-556695, e-mail: trkf@mail.ru

**Abstract** — It was shown [1, 2] that in the local approximation fractal properties of 2D-electron gas AlGaN/GaN of heterostructures, determining the dependence of resistance per unit length  $\rho$  on length  $l$  and width  $d$  of the HEMT-transistor drain-to-source channel, significantly influence on its instrument characteristics: drain-to-source resistance  $R_{SD}$ , thermal breakdown resistance  $U_H$  and transconductance  $G_M$ . It indicates that it is necessary consider fractal properties of the material during the engineering of high-power HEMT-transistors on AlGaN/GaN. As it follows from obtained results, maximum values of instrument characteristics for material with smaller values of local approximation limits  $L$  can be obtained with smaller linear dimensions of transistor active elements.