

Влияние топологических параметров на основные электрофизические характеристики силовых GaN HEMT

Е. В. Жук^{a,b}, А. Д. Юник^b

^a *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 220013, Минск, Беларусь*

^b *ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», 220108, Минск, Беларусь*
E-mail: EZhuk@integral.by

Введение. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ) (англ. *High Electron Mobility Transistor (HEMT)*) на основе нитридных гетероструктур представляют значительный интерес для современной силовой и СВЧ-электроники благодаря высокой плотности тока, устойчивости к большим электрическим полям и возможности работы в жестких температурных режимах. При проектировании таких приборов одной из центральных задач является выбор топологии активной области, поскольку именно геометрические параметры в значительной степени определяют распределение электрического поля, сопротивление канала, уровень утечек и достижимое пробивное напряжение. Как показывают литературные данные, компромисс между малыми потерями в открытом состоянии и высокой

электрической прочностью является принципиальным для AlGaIn/GaN-структур [1, 2]. В этой связи исследование влияния расстояний исток-затвор, затвор-сток и длины затвора на электрофизические характеристики ТВПЭ представляет практический интерес.

1 Методика исследования. Оценка влияния ключевых топологических размеров проводилась на специальной тестовой матрице единичных ТВПЭ с шириной затвора 100 мкм. В рамках работы последовательно варьировались три группы параметров: расстояние затвор-сток $L_{зс}$ в диапазоне 4.0-20.0 мкм при постоянных $L_з = 2.0$ мкм и $L_{из} = 4.5$ мкм; расстояние исток-затвор $L_{из}$ в диапазоне 4.0-7.0 мкм при постоянных $L_з = 2.0$ мкм и $L_{зс} = 12.0$ мкм; длина затвора $L_з$ в диапазоне 1.6-5.0 мкм при постоянных $L_{из} = 4.5$ мкм и $L_{зс} = 12.0$ мкм. Для каждого варианта анализировались сопротивление в открытом состоянии $R_{сн}$, максимальный ток стока в режиме насыщения, пороговое напряжение, а также токи утечки сток-исток и затвор-исток. Такой подход позволил разделить вклад отдельных геометрических параметров и определить, какие из них являются критическими при выборе конструкции прибора для конкретного класса напряжений и токовых нагрузок.

2 Результаты и обсуждение. Сопоставление полученных экспериментальных зависимостей показало, что изменение топологии активной области приводит к неодинаковому изменению отдельных параметров ТВПЭ. Наиболее чувствительными к геометрии оказались сопротивление в открытом состоянии и токи утечки, тогда как пороговое напряжение в исследованном диапазоне размеров оставалось практически постоянным. Это указывает на то, что топологические размеры в первую очередь влияют на транспорт носителей и распределение поля в приборе, но не определяют напрямую высоту барьера под затвором.

2.1 Сопротивление в открытом состоянии. На Рис. 1 продемонстрировано, что увеличение расстояния затвор-сток приводит к линейному росту сопротивления в открытом состоянии. Такой характер зависимости объясняется увеличением суммарного сопротивления области двумерного электронного газа между истоком и стоком, а также возрастанием доли активной области канала к общей величине $R_{сн}$. Аналогичный рост наблюдается и при увеличении расстояния исток-затвор, поскольку в этом случае возрастает длина области, через которую носители должны быть инжектированы под затвор. Увеличение длины затвора также сопровождается ухудшением проводимости, хотя влияние данного параметра выражено несколько слабее, чем влияние $L_{зс}$. С практической точки зрения полученный результат означает, что минимизация $L_{из}$ и $L_{зс}$ полезна для снижения потерь в открытом состоянии, однако выбор этих размеров не может проводиться изолированно от требований по пробивному напряжению. В частности, рост $L_{зс}$ способствует повышению пробивного напряжения структуры, и именно поэтому данный параметр должен выбираться как компромисс между низким сопротивлением и необходимым рабочим напряжением прибора.

2.2 Максимальный ток стока и пороговое напряжение. Анализ зависимости максимального тока стока в открытом состоянии показал, что увеличение расстояния $L_{зс}$ при постоянном $L_{из}$ практически не влияет на ток насыщения. Это свидетельствует о том, что при неизменной инжекции носителей со стороны истока и фиксированной длине затвора рост дрейфовой части канала сам по себе не приводит к существенному ухудшению токовой проводимости. В то же время увеличение расстояния исток-затвор вызывает заметное снижение тока насыщения, что связано с ростом сопротивления активной области и ухудшением условий инжекции носителей в канал под затвором. Похожая тенденция наблюдается и при увеличении длины затвора: более протяженная управляемая область усиливает влияние затворного барьера на транспорт электронов и уменьшает максимальный ток. Следовательно, для сохранения высокой плотности тока, задаваемой параметрами исходной гетероструктуры, при разработке ТВПЭ необходимо стремиться к оптимизации именно $L_{из}$ и $L_з$.

2.3 Токи утечки. Для токов утечки выявлена выраженная зависимость от ключевых топологических размеров. При увеличении расстояний $L_{зс}$ и $L_{из}$ наблюдается общий тренд к

возрастанию токов утечки сток-исток и затвор-исток, что можно связать с ростом площади активной структуры, увеличением протяженности периферийных областей и более высокой вероятностью проявления локальных дефектов, влияющих на перенос тока в закрытом состоянии. На Рис. 2 продемонстрировано, что сильное влияние на уровень утечек затвор-исток оказывает длина затвора. При ее увеличении рост токов утечки затвор-исток становится особенно заметным, что, вероятно, связано как с увеличением эффективной площади барьера, так и с усилением роли локально ослабленных участков под затвором, по которым могут реализовываться механизмы утечки.

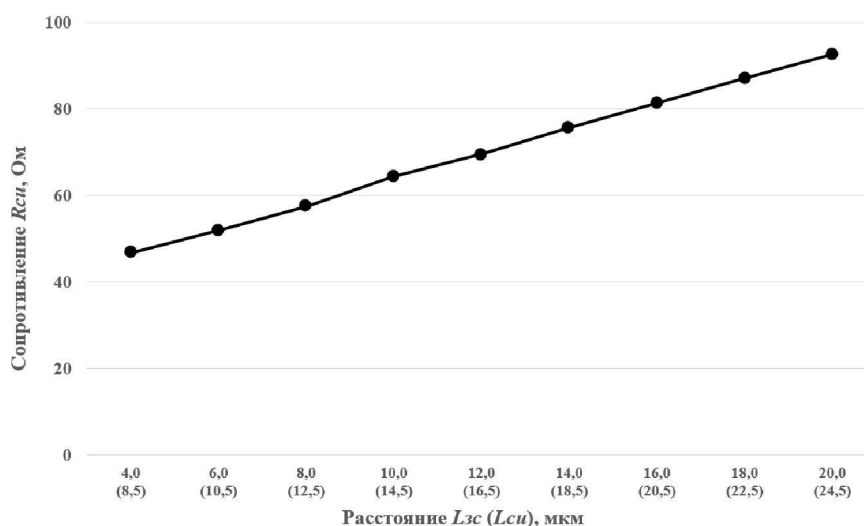


Рис. 1. Зависимость сопротивления в открытом состоянии ТВПЭ от расстояния затвор-сток $L_{зс}(L_{си})$.

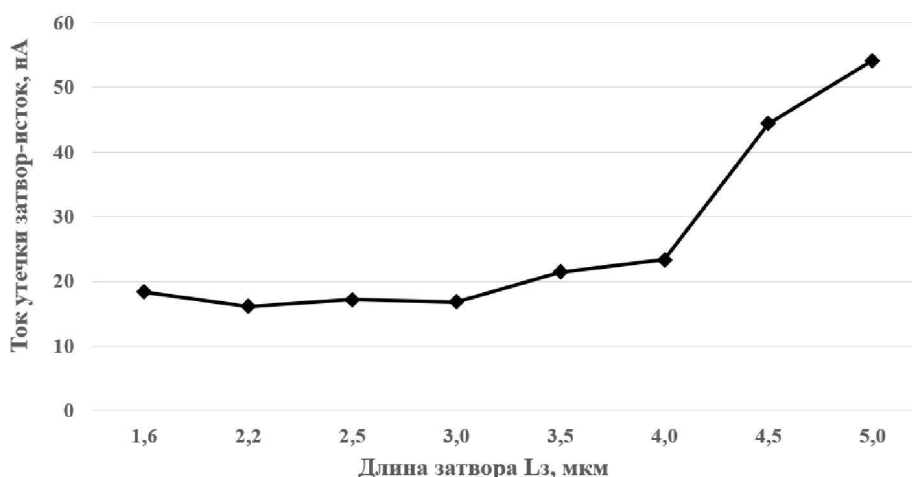


Рис. 2. Зависимость токов утечки затвор-исток ТВПЭ от длины затвора L_z .

Дополнительно следует отметить, что снижение утечек не может быть обеспечено одной лишь коррекцией размеров активной области. Для решения этой задачи необходимо комплексное сочетание нескольких подходов: улучшение пассивации поверхности гетероструктуры, снижение плотности поверхностных состояний, оптимизация профиля электрического поля с помощью полевых обкладок и контроль качества металлизации затвора. Тем не менее результаты настоящей работы показывают, что даже на уровне базовой топологии можно выделить диапазоны размеров, при которых достигается более благоприятное сочетание малых потерь и приемлемого уровня утечек.

Заключение. Проведенное исследование показало, что ключевые топологические

размеры ТВПЭ существенно влияют на их электрофизические характеристики и должны рассматриваться как важнейшие параметры проектирования. Рост расстояния затвор-сток сопровождается увеличением сопротивления в открытом состоянии, но одновременно способствует повышению пробивного напряжения, что делает этот параметр основным инструментом выбора класса рабочего напряжения прибора. Увеличение расстояния исток-затвор и длины затвора приводит к росту сопротивления и снижению максимального тока стока, тогда как пороговое напряжение в исследованном диапазоне размеров остается практически неизменным. Наиболее неблагоприятное влияние на токи утечки сток-исток, а также затвор-исток оказывает увеличение длины затвора. Полученные результаты могут быть использованы при разработке тестовых структур и силовых ТВПЭ, где требуется обеспечить компромисс между малым сопротивлением в открытом состоянии, высоким пробивным напряжением и допустимым уровнем утечек.

Литература.

1. Mishra U. K., Parikh P., Wu Y.-F. / AlGa_N/Ga_N HEMTs - an overview of device operation and applications // Proc. IEEE. - 2002. - Vol. 90, No. 6. - P. 1022-1031.
2. Dora Y., Chakraborty A., McCarthy L., Keller S., DenBaars S. P., Mishra U. K. / High breakdown voltage achieved on AlGa_N/Ga_N HEMTs with integrated slant field plates // IEEE Electron Device Lett. - 2006. - Vol. 27, No. 9. - P. 713-715.