

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Великовского Леонида Эдуардовича «СВЧ транзистор миллиметрового диапазона на основе (InAlGa)N/AlN/GaN гетероструктуры с легированными буферными слоями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Расширение частотного диапазона работы СВЧ транзисторов и увеличение их мощности являются важными направлениями развития современной полупроводниковой СВЧ электроники. Существенные прорывы в этих направлениях были достигнуты в последние годы за счёт использования новых материалов – нитридов III группы. Однако специфические особенности этих полупроводников (наличие сильной электрической поляризации, высокая дефектность, связанная, в том числе, с отсутствием собственных подложек, используемых для эпитаксиального роста приборных гетероструктур, экстремально высокие критические поля пробоя, сильная неоднородность таких твёрдых растворов, как InGaN, вызванная их тенденцией к распаду на фазы, большое рассогласование постоянных решётки между GaN, AlN и InN и т. д.) не позволили непосредственно применить для них технологии полевых транзисторов, разработанные ранее для систем материалов AlGaAs/GaAs и InGaAsP/InP. Фактически технологию изготовления нитридных полевых транзисторов пришлось разрабатывать заново, учитывая как уникальные свойства этих полупроводников, так и сложности получения материалов приборного качества. В диссертационной работе Л. Э. Великовского рассмотрены основные проблемы, которые необходимо решать для увеличения рабочих частот транзисторов на основе GaN, и для части из них предложены практически апробированные решения, что делает тему диссертационной работы и её содержание весьма актуальной.

Особенно позитивное впечатление как с методической, так и с результативной точки зрения оставляет та часть работы, которая связана с оптимизацией конструкции полуизолирующего буфера для AlGaIn/GaN и AlInN/GaN транзисторов с использованием легирования буферного слоя углеродом и железом. Во-первых, автор постоянно ищет компромисс между позитивным влиянием такого легирования на пробивное напряжение и его негативным влиянием на токовый коллапс. Во-вторых, при поиске этого компромисса автор выявляет и учитывает такие особенности выращивания приборной структуры, как 1) сегрегацию железа на ростовой поверхности, приводящую к протяжённым хвостам его концентрации в направлении канала транзистора, и 2) отсутствие подобной сегрегации при легировании буферного слоя углеродом. В результате, он находит и апробирует на практике подход, основанный на комбинированном легировании буфера железом и углеродом, попутно оптимизируя конструкцию буфера гетероструктуры в целом.

Весьма интересно также выполненное сравнение транзисторов на основе структур AlGaIn/AlN/GaN и AlInN/AlN/GaN с позиции их использования в СВЧ-

электронике и, в частности, влияния конструктивных параметров на частотные характеристики этих приборов. В результате проведенного исследования были созданы СВЧ транзисторы с достаточно высоким усилением в миллиметровом частотном диапазоне. Следует отметить, что это – один из немногих известных мне практических результатов, полученных полностью на базе отечественной ростовой и постростовой технологии. По этой причине приведенные в диссертационной работе результаты исследований различных вариантов конструкций СВЧ транзисторов и анализ полученных результатов вносят существенный вклад в развитие данной области полупроводниковой СВЧ электроники.

Особое место в диссертации занимает сравнительный анализ пассивирующих покрытий, выполненных из Si_3N_4 , полученного разными методами. В силу сильного влияния технологии напыления Si_3N_4 на его свойства и способность пассивировать поверхности полупроводников данная часть исследования важна для правильного выбора соответствующей технологии.

К недостаткам работы можно отнести несколько небрежное её оформление. Текст содержит много технического жаргона, а подписи к рисункам не всегда полностью объясняют их содержание. Важным вопросом, который остался также вне обсуждения в диссертации, - это влияние легирования GaN буфера железом и углеродом на теплопроводность материала, определяющую эффективность отвода тепла от канала транзистора. Однако последнее является, скорее, пожеланием для дальнейших исследований, чем недостатком самой диссертации.

Результаты диссертационной работы Л. Э. Великовского представлены в 13 публикациях, из которых 5 индексируются в WoS и Scopus; имеется 1 свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы.

На мой взгляд, данная диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а сам соискатель, Великовский Леонид Эдуардович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника.

Ведущий специалист ООО «Софт-Импакт»,
к.ф.-м.н.

(С. Ю. Карпов)

194044, Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр. 64,
литера «Е», офис 603; Тел.: +7 (911) 944-3005,
E-mail: sergey.karpov@str-soft.com

« 6 » февраля 2020 г.



*Руки Карпова С.Ю. заверено.
Шамалева Э.Н., Финансовый директор
ООО «Софт-Импакт»*