

ОТЗЫВ

научного руководителя доктора технических наук В. Г. Божкова на диссертацию А. В. Шмаргунова «*Нелинейная зависимость высоты барьера от смещения и природа аномалий характеристик контактов с барьером Шоттки*», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Контакт металл-полупроводник (м-п) с барьером Шоттки (БШ) – один из наиболее активно исследуемых объектов полупроводниковой электроники. Это связано не только с его широким и разнообразным использованием (от СВЧ до силовой электроники), но и с обилием требований к нему, обусловленных конкретными условиями применения, и расширяющимся кругом вовлекаемых в практику полупроводниковых материалов. Как известно, именно с контактом м-п связывается начало исследований в области полупроводниковой электроники с конца 19-го века, а с начала 60-х годов прошлого века - новый (современный) этап в развитии полупроводниковой СВЧ электроники.

Несмотря на столь длительную историю изучения, существует целый ряд дискуссионных вопросов, касающихся природы барьера, структуры контакта и особенностей ("аномалий") его электрофизических, прежде всего, вольт-амперных характеристик (ВАХ), наиболее ярко проявляющихся при измерениях в широком диапазоне температур. Среди «аномалий» особая место занимает так называемая «низкотемпературная аномалия» ВАХ, заключающаяся в трудно объяснимом характере изменений основных параметров ВАХ контакта, показателя идеальности (n) и высоты барьера (φ_b) с понижением температуры. История её исследований и дискуссий по поводу её природы насчитывает более 50 лет. Столь же «странно» ведёт себя величина $\varphi_{bn} = n\varphi_b$, которая значительно лучше соответствует реальной высоте барьера чем измеряемая высота барьера.

К другим особенностям реальных контактов с БШ относят хорошо известное отличие высот барьеров, определённых из I - V - и C - V -характеристик (φ_b и φ_{bc} , соответственно), которое, как правило, выражено сильнее, чем это следует из учёта эффекта сил изображения, наличие размерных эффектов в контактах (зависимость характеристик контакта, прежде всего высоты барьера и показателя идеальности, от его размеров), а также обратную связь найденных из ВАХ значений высоты барьера и показателя идеальности. Существенной проблемой является отсутствие чёткого разграничения между различными используемыми в литературе определениями высоты барьера: реальной (истинной), измеряемой, кажущейся, эффективной, высотой барьера при нулевом смещении и некоторыми другими. Объектом дискуссии остаются также смысл и роль такого широко распростра-

нённого понятия как высота барьера при плоских зонах, тесно связанного с "низкотемпературной аномалией" ВАХ.

В последние годы получило распространение объяснений «аномалий» ВАХ на основе модели контакта с неоднородным распределением высоты барьера. Речь идёт о гауссовском распределении высоты барьера с дисперсией, зависящей от поданного на контакт смещения, и о модели «седловых точек» (модели Танга), возникающих при специфических условиях, когда малый участок контакта с низкой высотой барьера, окружён областью с большой высотой барьера. Формально последние гипотезы дают достаточно полное теоретическое обоснование "низкотемпературной аномалии" и других особенностей ВАХ контактов с БШ при необходимом подборе параметров модели. Однако они обладают не только достоинствами, но и содержат целый ряд недостатков, главным из которых является отсутствие более или менее убедительного физического обоснования.

В работах, проводимых в НИИПП работ, вопросу о природе различных "аномалий" в поведении характеристик контактов с БШ уделялось большое внимание в связи разработкой диодов с БШ (ДБШ) миллиметрового диапазона длин волн с диаметрами контакта вплоть до микронных размеров (в том числе для работы в условиях охлаждения). В последнее десятилетие проведённые расчёты и исследования позволили проанализировать различные физические модели контакта, так или иначе объясняющие описанные выше "аномалии", и показать, что во всех случаях причиной "аномального" поведения контактов с БШ, является свойственная им нелинейная зависимость (нелинейность) высоты барьера от смещения. «Всеобщий» характер этого свойства контактов является причиной «всеобщего аномального» поведения их характеристик.

С учётом сказанного перед диссертантом Шмаргуновым А.В. стояла задача исследования возможности альтернативного (гипотезам о неоднородности высоты барьера) объяснения «аномалий» ВАХ контактов на основе представления о нелинейной зависимости высоты барьера от смещения. Предполагалось, что наиболее вероятной физической причиной этой «нелинейности» является неоднородное распределение по энергии плотности поверхностных или приповерхностных электронных состояний в контакте, идея которого была опробована в работах НИИПП ранее.

Прежде всего, стояла задача получить убедительный экспериментальный материал, подтверждающий нелинейный характер зависимости высоты барьера от смещения. При этом использовались как традиционные контакты GaAs с Au и Ni, так и ранее мало исследованные, с Rh и Ir, причём синтез последнего контакта проводился впервые в рамках настоящей работы. В результате было достигнуто не только убедительное соответствие модели и эксперимента, но и показаны уникальные возможности использования «нели-

нейности» высоты барьера для описания ВАХ, т.е. представления ВАХ контактов с барьером Шоттки в максимально простом аналитическом виде в широком диапазоне концентраций примеси и температур с учётом термоэмиссионного и туннельного тока и эффекта сил изображения. Эти результаты были проверены сравнением с известными экспериментальными данными.

Большое внимание было уделено более тщательному анализу модели «седловых точек», сравнению её основных следствий с экспериментальными результатами, как полученными нами, так и известными. В результате была обнаружена неадекватность модели, по крайней мере, в области комнатных температур, отсутствие достаточно определённых критериев для использования подгоночных параметров, ошибочность использования некоторых приближений.

Наконец в рамках работы были впервые проведены АСМ-исследования контакта, позволившие сделать важный вывод о наличии и важности интерфейсных состояний в контакте, косвенно подтверждающий использованную автором модель.

Оценивая результаты работы, научно-технический уровень её выполнения и проявленные при этом автором качества исследователя, я могу определённо сказать, что работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор работы Шмаргунов А.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Божков Владимир Григорьевич

заслуженный деятель науки Российской Федерации

доктор технических наук, профессор,

начальник отдела полупроводниковой СВЧ

электроники ОАО «Научно исследовательский

институт полупроводниковых приборов»,

634034, Россия, Томск, ул. Красноармейская 99а,

<http://www.niipp.ru/>

e-mail: niipp@niipp.ru

тел: +7 (3822) 555-089

Верно

Начальник отдела кадров

4.03.2015 г.



Ю.И.Перегудова