

ОТЗЫВ

научного руководителя Рукина Сергея Николаевича

на диссертацию Гусева Антона Игоревича

«ТИРИСТОРНЫЕ КОММУТАТОРЫ

С УДАРНО-ИОНИЗАЦИОННЫМ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 01.04.13 - электрофизика, электрофизические установки

Диссертационная работа

Диссертация Гусева Антона Игоревича посвящена исследованию тиристорных коммутаторов, которые переводятся в проводящее состояние не традиционным способом – импульсом тока через управляющий электрод – а подачей на основные электроды тиристора импульса перенапряжения с высокой скоростью его нарастания. В этом случае реализуется субнаносекундный механизм переключения тиристора за счет возбуждения и прохождения в его структуре волны ударной ионизации. Несомненно, что такие исследования актуальны, поскольку с одной стороны, позволяют получить новые знания фундаментального характера о процессе такого переключения, а с другой стороны имеют большое прикладное значение, представляя основу для создания быстродействующих полупроводниковых коммутаторов.

В работе достаточно четко прослеживаются фундаментальная и прикладная составляющие, причем основной упор сделан на фундаментальные исследования. Три из четырех защищаемых положения можно отнести к фундаментальной части, а одно – к прикладной. В фундаментальной части фактически исследуется непосредственно ударно-ионизационный механизм пробоя полупроводников на примере кремниевых тиристорных структур.

Основной результат исследования заключается в том, что экспериментально показана определяющая роль скорости нарастания напряжения dU/dt на тиристоре перед процессом его перехода в проводящее состояние. Исследования, выполненные при высоких значениях dU/dt – вплоть до 10 кВ/нс – показали, что полупроводниковая структура при пробое ведет себя так же, как и любая диэлектрическая среда (газ, вакуум, жидкость и твердое тело). А именно, пробивное напряжение не имеет фиксированного значения, а подчиняется пробивной вольт-секундной характеристике, как и в других средах, когда уменьшение времени воздействия напряжения ведет к увеличению пробивного напряжения и электрического поля пробоя. При этом увеличение напряжения и поля пробоя в структуре ведет к снижению времени перехода тиристора в проводящее состояние.

Этот же параметр – dU/dt – определяет и процесс запуска ударно-ионизационной волны при высоких температурах. Ранее считалось и подтверждалось экспериментально, что такой механизм переключения исчезает при температуре около 100 °С. Однако, как показано в диссертации, увеличение скорости нарастания напряжения запускает ударно-

ионизационную волну при температуре вплоть до 180 °С, причем время коммутации тиристора остается в диапазоне нескольких сотен пикосекунд.

И, наконец, последнее, что, на мой взгляд, наиболее ценно в настоящей работе, это третье защищаемое положение. Уже давно ведется дискуссия о том, насколько однороден процесс ударно-ионизационного переключения по площади структуры. Исследования по этому вопросу велись только численными методами. В настоящей работе впервые получены экспериментальные результаты, свидетельствующие о том, что при таком механизме переключения плазмой заполняется только часть полупроводниковой структуры, а самое главное, то, что эта часть, называемая активной площадью, формируется на стадии роста напряжения на структуре и увеличивается с ростом величины dU/dt . В конечном счете, увеличение параметра dU/dt на стадии запуска тиристора ведет к увеличению проводимости прибора на стадии прохождения тока, снижает потери энергии, увеличивает амплитуду коммутируемого тока и скорость его нарастания.

В прикладном аспекте ценность полученных результатов также очевидна. Самые простые и доступные низкочастотные тиристоры, которые выпускаются промышленностью в больших объемах, превращаются в сильноточный коммутатор с субнаносекундным временем переключения, если их запускать не стандартным способом – импульсом тока через управляющий электрод – а подачей на основные электроды импульса перенапряжения. При этом критическая скорость нарастания тока через тиристор – параметр dI/dt – увеличивается в сотни раз – с нескольких сотен А/мкс до значения выше 100 кА/мкс. Фактически скорость нарастания тока через тиристор в этом случае ограничивается уже не прибором, а индуктивностью разрядного контура. Очевидно, что тиристорные коммутаторы с таким механизмом переключения могут найти применение при разработке твердотельных генераторов больших импульсных токов, которые востребованы в различных областях современной физики и техники.

Квалификация соискателя

За время выполнения диссертационной работы А.И. Гусев сформировался в специалиста, способного ставить и решать на высоком научно-техническом уровне экспериментальные задачи в области мощной полупроводниковой электроники. Его личный вклад в представленную работу заключается в постановке и проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов, подготовке материалов к публикациям и выступлению на конференциях. Высокий уровень квалификации А.И. Гусева также подтверждается полученными им наградами и премиями среди студентов и молодых ученых. Здесь следует выделить следующие его достижения:

2012 г. – диплом за лучший доклад на 18-й Всероссийской научной конференции студентов физиков, г. Красноярск;

2016 г. – награда имени профессора Воробьева за работу в области мощной импульсной техники среди молодых ученых на 19-м международном симпозиуме по сильноточной электронике, г. Томск;

2017 г. – первое место в конкурсе молодых ученых, который проводился на конференции по мощной импульсной технике, Великобритания;

2018 г. – премия среди молодых ученых от оргкомитета Международной Евразийской конференции по мощной импульсной технике, Китай;

2018 г. – премия Тома Буркса среди молодых ученых от оргкомитета Международной конференции по мощным импульсным модуляторам, США.

Премия Тома Буркса, вручаемая молодым ученым без степени, была получена А.И. Гусевым за исследования, выполненные по теме настоящей диссертации, а именно, «за выдающийся вклад в исследования быстрых тиристорных коммутаторов, запускаемых волной ударной ионизации». Это наиболее ценная премия, поскольку он стал первым российским ученым, который был ее удостоен.

Заключение

В целом работа Гусева А.И. выполнена на высоком научном уровне. Работа представляет собой законченный труд и соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям технического профиля, а ее автор, Гусев Антон Игоревич, безусловно, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Заведующий лабораторией импульсной техники
Института электрофизики УрО РАН,
доктор технических наук

С.Н. Рукин

Подпись С.Н. Рукина заверяю:

Ученый секретарь
Института электрофизики УрО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



Е.Е. Кокорина