

Ударно-ионизационный волновой пробой и генерация пикосекундных сверхширокополосных и сверхвысокочастотных импульсов в дрейфовых диодах на основе GaAs с резким восстановлением

© В.А. Козлов[¶], А.В. Рожков, А.Ф. Кардо-Сысоев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 17 июля 2003 г. Принята к печати 18 июля 2003 г.)

Впервые экспериментально подтверждено, что работа дрейфовых GaAs-диодов с резким восстановлением, изготовленных из $p^+ - p^0 - n^0 - n^+$ -структур, сопровождается возбуждением сверхвысокочастотных осцилляций в виде цугов коротких импульсов длительностью ~ 10 пс. Амплитуда импульсов и частота их повторения достигают значений ~ 100 В и $\sim (10-100)$ ГГц соответственно. Факт существования явлений задержанного обратимого волнового пробоя и возбуждения сверхвысокочастотных осцилляций в структурах GaAs-диодов с резким восстановлением открывает перспективы развития новых направлений как в физике и технике полупроводниковых приборов на основе GaAs-структур, так и в новых областях техники и технологии сверхвысокочастотных и сверхширокополосных систем и устройств, оперирующих с импульсными сигналами пикосекундной длительности.

В работе [1] впервые сообщалось о явлении задержанного ударно-ионизационного волнового пробоя кремниевых высоковольтных $p^+ - n - n^+$ -структур дрейфовых диодов с резким восстановлением (ДДРВ) и о возбуждении СВЧ осцилляций в таких структурах, типичных для работы лавинно-пролетного диода в IMPATT-режиме. Основной отличительной особенностью СВЧ колебаний в таких структурах является способ их возбуждения, при котором диодная структура вводится в режим лавинного пробоя сигналом не от внешнего источника импульсов (случай обычных лавинно-пролетных диодов — ЛПД), а входит в режим СВЧ осцилляций при резком (за время 10^{-9} с) восстановлении блокирующих свойств диода, работающего в режиме ДДРВ. В дальнейшем СВЧ осцилляции были реализованы нами для IMPATT-режима в различных структурах Si-ДДРВ, отличающихся быстродействием и параметрами слоев, что позволило возбуждать СВЧ колебания в диапазоне частот от сотен МГц до единиц ГГц. Независимые исследования авторов работы [2] показали, что подобные СВЧ осцилляции можно получить и для случая кремниевых структур SOS-диодов в режиме, аналогичном режиму ДДРВ, при резком восстановлении $p^+ - p^0 - n^+$ -переходов без базового n^0 -слоя. Реализовать TRAPATT-режим задержанного ударно-ионизационного пробоя структур SOS-диодов авторам [2] не удалось.

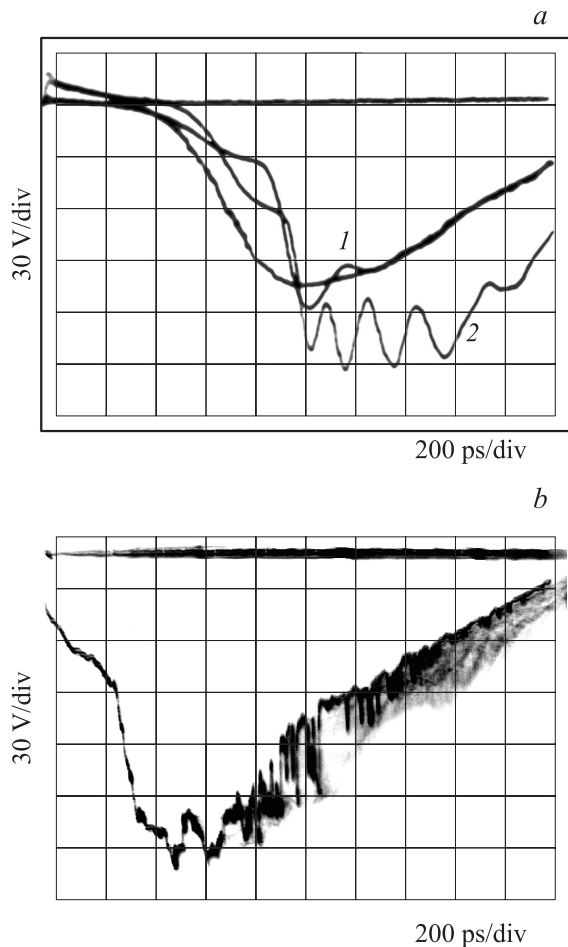
Цель настоящей работы — экспериментальное наблюдение и исследование явления задержанного волнового пробоя, а также возбуждения СВЧ осцилляций в IMPATT- и TRAPATT-режиме в структурах ДДРВ на основе арсенида галлия. В силу отличий арсенида галлия от кремния как в зонной структуре, так и в характере полевой зависимости подвижности носителей заряда (немонотонная зависимость с максимумом) предполагалось, что для диодных GaAs-структур возможно возбу-

ждение TRAPATT-осцилляций на частотах выше 10 ГГц при работе в режиме ДДРВ. Для кремниевых структур ДДРВ возбуждение TRAPATT-осцилляций не представлялось возможным, несмотря на экспериментальное подтверждение возможности обратимого задержанного волнового пробоя кремниевых структур ДДРВ [1].

Для экспериментов по проверке существования IMPATT- и TRAPATT-осцилляций в ДДРВ на основе GaAs использовались высоковольтные дрейфовые диодные структуры с пикосекундным быстродействием [3]. Тестирование $p^+ - p^0 - n^0 - n^+$ -структур проводилось в импульсной схеме, предназначенной для формирования пикосекундных электрических импульсов колоколообразной формы с временем нарастания, равным быстродействию структуры ДДРВ. Для реализации необходимых режимов инжекции и экстракции носителей зарядов в структурах ДДРВ из GaAs использовались схемотехнические решения, основанные на применении в качестве первичных ключей кремниевых дрейфовых транзисторов с резким восстановлением (ДТРВ), обеспечивающих высокую эффективность и высокочастотность схем генерации пикосекундных электрических импульсов.

На рисунке представлены осциллограммы электрических импульсов, генерируемых ДДРВ из GaAs для трех режимов: 1) генерирование пикосекундных моноимпульсов в режиме работы ДДРВ без введения $p^0 - n^0$ -перехода структур в лавинный пробой (рисунок, а, кривые 1); 2) генерирование СВЧ колебаний в IMPATT-режиме на частоте ~ 6 ГГц (рисунок, а, кривая 2); 3) генерирование СВЧ колебаний в TRAPATT-режиме на частоте ~ 50 ГГц (рисунок, б). Следует отметить, что регистрация СВЧ осцилляций осуществлялась стробоскопическим осциллографированием формы импульса напряжения, передаваемой на резистивную нагрузку величиной 50 Ом, причем паразитные индуктивность и емкость измерительного тракта и самой схемы питания ДДРВ были рассчитаны на реги-

[¶] E-mail: kozlov@mail.ioffe.ru



Форма импульсов GaAs-ДДРВ: *a* — пикосекундные моноимпульсы в режиме без введения p^0-n^0 -перехода в лавинный пробой (1) и СВЧ колебания в IMPATT-режиме на частоте ~ 6 ГГц (2); *b* — СВЧ колебания в TRAPATT-режиме на частоте ~ 50 ГГц.

страцию процессов с временным разрешением ~ 50 пс. В связи с этим точно оценить амплитуду СВЧ осцилляций для случая TRAPATT-режима невозможно, и в дальнейшем будут выполнены дополнительные измерения в режиме прямой (нестробоскопической) регистрации СВЧ процессов в СВЧ резонаторе.

Исследованы различные варианты работы ДДРВ на основе GaAs с пикосекундным быстродействием в условиях лавинного ударно-ионизационного пробоя p^0-n^0 -перехода. Впервые экспериментально подтверждено, что такие ДДРВ могут быть использованы для генерации СВЧ мощности в диапазоне частот от единиц до десятков ГГц, причем для GaAs-диодов с резким восстановлением в отличие от Si-структур возможен режим TRAPATT-осцилляций. Полученные результаты не претендуют на точное теоретическое объяснение наблюдаемых СВЧ эффектов и интерпретация СВЧ осцилляций носит, скорее, качественный характер, особенно для случая TRAPATT-режима при волновом задержанном ударно-ионизационном пробое GaAs-ДДРВ.

Тем не менее полученные в данной работе результаты позволяют с определенной уверенностью полагать, что ДДРВ на основе GaAs-структур могут быть с успехом использованы для генерации мощных высоковольтных электрических и оптических сигналов пикосекундной длительности. Генерация мощных пикосекундных электрических и оптических моноимпульсов будет экспериментально проверена по методикам, аналогичным изложенным в работах [4–6].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ-ИННО № 02-02-08028 и ЗАО „Импульсные технологии“.

Авторы выражают признательность С.В. Зазулину за помощь, оказанную в проведении экспериментов по тестированию характеристик СВЧ осцилляций в ДДРВ на основе GaAs, и И.А. Смирновой за помощь на отдельных стадиях изготовления образцов.

Список литературы

- [1] В.А. Козлов, А.Ф. Кардо-Сысоев, В.И. Брылевский. ФТП, **35** (5), 629 (2001).
- [2] С.А. Дарзбек, С.К. Любутин, С.Н. Рукин, Б.Г. Словицкий. ФТП, **36** (5), 629 (2002).
- [3] А.В. Рожков, В.А. Козлов. ФТП, **37** (12), 1477(2003).
- [4] Ж.И. Алфёров, В.М. Ефанов, Ю.М. Задиранов, А.Ф. Кардо-Сысоев, В.И. Корольков, С.И. Пономарев, А.В. Рожков. Письма ЖТФ, **12** (21), 1281 (1986).
- [5] Ж.И. Алфёров, И.В. Грехов, В.М. Ефанов, А.Ф. Кардо-Сысоев, В.И. Корольков, М.Н. Степанова. Письма ЖТФ, **13** (18), 1089 (1987).
- [6] Ж.И. Алфёров, Е.Л. Портной, А.Б. Журавлев, Н.Н. Стельмах. Письма ЖТФ, **12** (18), 1093 (1986).

Редактор Л.В. Шаронова

Impact ionization wave breakdown and picosecond pulse UHF generation in gallium-arsenide drift step recovery diodes

V.A. Kozlov, A.V. Rozhkov, A.F. Kardo-Sysoev

loffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract Ultra high frequency IMPATT oscillations followed, under certain conditions, by reversible impact ionization wave breakdown and picosecond pulse generation as high as 50 GHz frequency have been experimentally observed for the first time in GaAs-DSRD's. A possible physical model and practical applications of the phenomenon observed are being discussed for the ultra wide band, ultra high frequency applications and for optoelectronics as such.