

# КРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВУНША-БЕЛЛА ДЛЯ ПТШ НА КРЕМНИИ

Гордиенко Ю. Е., Зуев С. А., Старостенко В. В., Терещенко В. Ю., Шадрин А. А., Осадчук А. Е.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, кафедра МЕРУ

проспект Ленина, 14, Харьков, 61166

e-mail: [meru@kture.kharkov.ua](mailto:meru@kture.kharkov.ua)

Таврический национальный университет, кафедра радиофизики

проспект Вернадского, 4, Симферополь, 95007

e-mail: [starostenko@crimea.com](mailto:starostenko@crimea.com)

**Аннотация** – В работе приводятся результаты расчетов на численной модели ПТШ развития электротепловых процессов после начала лавинного пробоя вплоть до достижения температуры решетки в области токового шнура, соответствующей температуре плавления Au – подложки затвора. Полученная зависимость амплитуды импульса напряжения сток-исток от времени (длительности импульса) достижения температуры, при которой прибор выходит из строя, представляет собой зависимость Вунша-Белла для прибора с фиксированной геометрией.

## I. Введение

В США, в период с конца 60-х годов, большое количество работ было посвящено исследованию воздействия импульсных электромагнитных полей (ИЭМП) на элементную базу РЭА. Такого рода исследования инициировались повсеместным переходом РЭА на полупроводниковые приборы (ППП) и интегральные микросхемы (ИМС), с одной стороны, и достижениями в области создания генераторов сверхбольших импульсных мощностей в СВЧ диапазоне, с другой. При этом предполагалось, что воздействие ИЭМП на элементную базу можно свести к подаче видеоимпульса напряжения на выводы прибора. Вначале подобные исследования были проведены для полупроводниковых диодов, а в дальнейшем распространены на транзисторы, микросхемы, соединительные проводники (для ИМС – металлизация). Такого рода имитационный подход к воздействию ИЭМП на элементную базу позволил установить критериальную зависимость стойкости основных элементов РЭА на основе р-п-переходов и проводников от параметров воздействующих видеоимпульсов, таких как амплитуда, длительность, форма импульсов [1-5]. Зависимость величины удельной мощности  $P/S$  ( $P$  – мощность, рассеиваемая током, проходящим через поперечное сечение  $S$  прибора), при которой прибор выходит из строя, от длительности импульса, была впервые экспериментально получена Вуншем и Беллом для диода и транзистора и в дальнейших исследованиях по данному направлению именуется как зависимость Вунша-Белла [1]. Наиболее полные сведения о результатах подобных исследований при использовании имитационного подхода содержатся в монографии Дж. Антинона [5].

Как показали исследования ИМС [6, 7], для них характерная зависимость Вунша – Белла не выполняется в связи со спецификой рассеяния и поглощения ИЭМП корпусом, выводами и подложкой ИМС. Можно предположить, что для функционально-структурных транзисторных элементов ИМС указанные зависимости должны выполняться.

Целью данной работы является проверка на численной модели выполнения критериальной зависимости Вунша-Белла на уровне такого микроструктурного элемента ИМС как ПТШ.

## II. Основная часть

В качестве исходных соотношений для моделирования процессов в ПТШ бралась система уравнений: кинетическое уравнение Больцмана, уравнения Пуассона и теплопроводности с соответствующими граничными и начальными условиями [8]. Описанная система уравнений решалась методом крупных частиц с учетом генерации и рекомбинации зарядов.

Для проведения численного эксперимента задавались следующие параметры активной области ПТШ: длина затвора – 0.2 мкм, активные области истока и стока – одинаковы, размеры остальных областей указаны на рис.1., длина канала варьировалась от 1 мкм до 2.5 мкм. Затвор находился посередине канала. Начальная температура кристалла 293 К. Напряжение на затворе задавалось равным -0.2 В. Уровни легирования слоев Si:  $n^-$  – буферный слой –  $10^{21} \text{ м}^{-3}$ ,  $n$  – канал –  $10^{23} \text{ м}^{-3}$ ,  $n^+$  – контактный слой –  $10^{25} \text{ м}^{-3}$ . Материал металлизации затвора – Au с подслоем из W.

В качестве начальных условий задавалось равномерное распределение носителей по координатам в соответствии с уровнем легирования и максвелловское распределение по энергии. После нескольких временных шагов, за которые формировалась функция распределения близкая к реальной, включался импульс поля в виде функции Хевисайда.

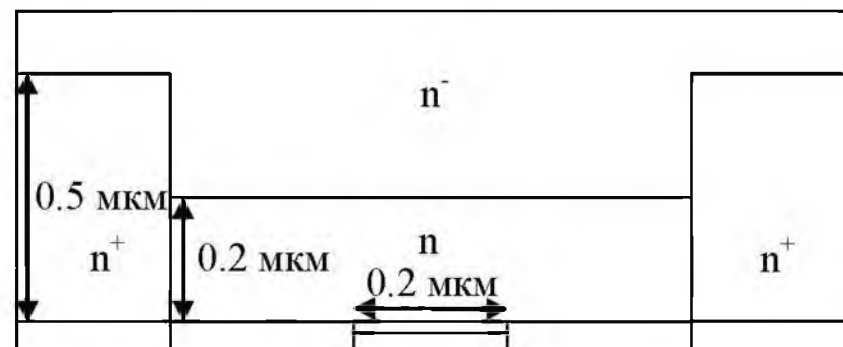


Рис. 1. Топология моделируемого ПТШ.

Fig. 1. Topology of model-based FET

Для ПТШ при напряжении на стоке выше критического начинается пробой в области канала между затвором и стоком. Дальнейшее развитие процесса сопровождается ростом температуры кристаллической решетки в канале. В качестве критерия выхода из строя прибора был выбран момент, когда температура в локальных точках кристалла достигала температуры плавления контактов.

На рис.2 представлено семейство кривых, описывающих критериальные зависимости Вунша-Белла в базисе амплитуда импульса – время выхода прибора из строя для разных длин канала транзистора. Время выхода ПТШ из строя тем меньше, чем меньше расстояние исток-сток.

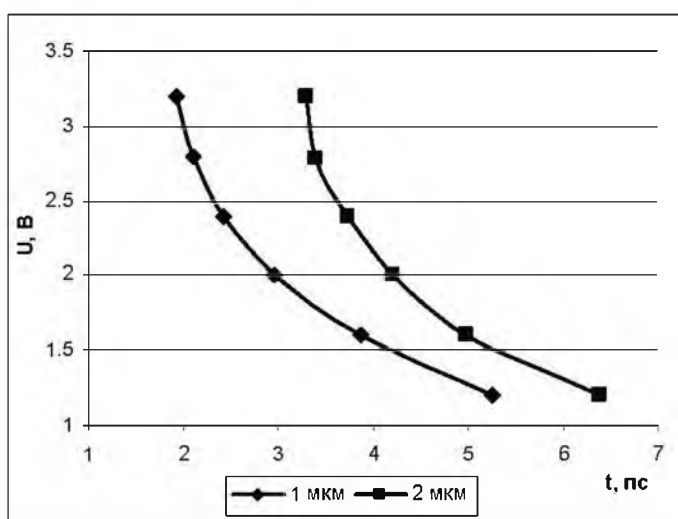


Рис. 2. Зависимость напряжения пробоя ПТШ от длительности импульса.

Fig. 2. Dependence of FET breakdown voltage vs. pulse length

Аналогичная зависимость представлена для удельной мощности, при которой ПТШ выходит из строя.

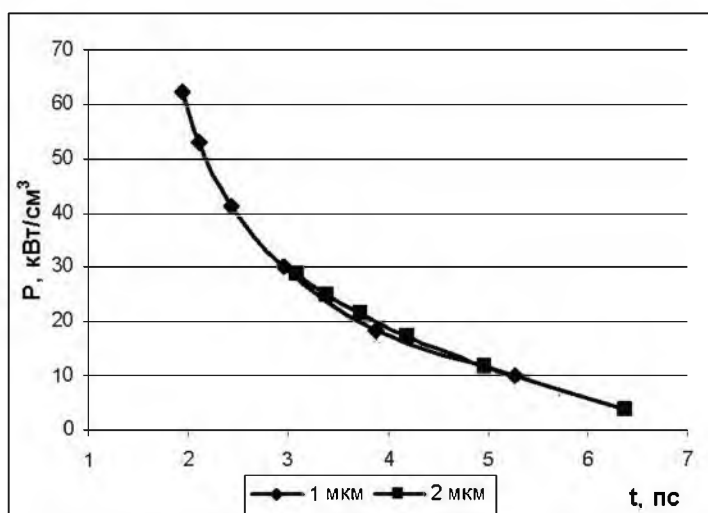


Рис. 3. Зависимость Вунша-Белла для ПТШ.

Fig. 3. Wunsch-Bell dependence for FET

Кривые, приведенные на рис.3 представляют собой критериальную зависимость Вунша-Белла для удельной мощности ( $P/m^2$ ). При этом на критериальной кривой совпали зависимости, приведенные на рис.2 для разных геометрий.

### III. Заключение

Результаты расчетов показывают, что, во-первых, для МСЭ критериальная зависимость Вунша-Белла выполняется, во-вторых, для различных геометрий удельная мощность, при которой прибор выходит из строя, совпадает.

### IV. Список литературы

- [1] D. C. Wunsch, R. R. Bell. Determination Of Threshold Failure Of Semiconductor Diodes And Transistors Due To Pulse Voltages // IEEE Trans., 1968, Vol. NS-15, № 6, P. 244-259.
- [2] C. R. Jenkins, D. L. Durgin. EMP susceptibility of integrated circuits. – IEEE Trans., 1975, Vol. NS-22, N 6, P. 2494-2499.
- [3] V. M. Dwyer, A. J. Franklin, D. S. Campbell. Thermal failure in semiconductor devices // Solid State Electronics, Vol. 33. - 1990. – P. 553-560.
- [4] K. A. Danso, L. Tullios. Thin-Film Metalization, Studies and Device Lifetime Prediction Using Al-Si and Al-Cu-Si Conductor Test Bars // Microelectronics and Reliability. – 1981. – Vol. 21, № 4. – P. 513-527.
- [5] J. Atinone. Electrical Overstress Protection for Electronic Devices. - New York, 1986. - P. 387.
- [6] Старостенко В. В., Григорьев Е. В., Малишевский С. В., Таран Е. П. Влияние поляризации электромагнитной волны на соотношение между волнами при воздействии на интегральные микросхемы // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. - Вып. 129. - С. 107-110.

- [7] Старостенко В. В., Григорьев Е. В., Малишевский С. В., Таран Е. П. Механизмы воздействия электромагнитных полей на интегральные микросхемы // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. - Вып. 129. - С.107 – 110.
- [8] Зув С. А., Старостенко В. В., Терещенко В. Ю., Чурюмов Г. И., Шадрин А. А. Модель ПТШ субмикронных размеров на кремнии. Ч1 // Радиоэлектроника и информатика, №3. – 2004. – С. 47 – 53.

## WUNSCH-BELL CRITERION DEPENDENCY FOR SILICIUM FET

Gordienko Yu. E., Zuev S. A., Starostenko V. V., Tereshchenko V. Yu., Shadrin A. A., Osadchuk A. E. Kharkov National University of Radioengineering, Tavnda National Technical University  
e-mail: mepu@kture.kharkov.ua, starostenko@crimea.com

*Abstract* – The results of electrothermal process calculations in FET are given. Calculations performed in avalanche breakdown mode till Au (used as gate substrate) melting point and achieved in any lattice point in active FET area. Discrete FET model is used to perform calculations.

### I. Introduction

The studies of EMP effects over diodes, transistors and microcircuits are performed. Dependency of stability of the main elements was obtained for base p-n-junction and conductors from parameters influencing video pulses such as amplitude, duration and form of pulses [1-5]. The dependency of value of flow of power under which instrument comes out of operations, from duration of pulse, for the first time was experimentally received by Wunsch and Bell for diode and transistor [1]. In studies [6,7] was shown that Wunsch-Bell dependency is not satisfied for IC' in connection with specific of dissipation and absorption of EM radiation by IC' body, interelement relationships and contact platforms. For structural IC' transistor elements specified dependencies must be holding true.

The aim of this work is to check using discrete FET model the fulfillment of Wunsch-Bell dependency for such microstructure elements of IC' as FET.

### II. Main Part

A system of equations: kinetic Boltzman equation, Poisson equation and thermal equation were used as source equations for modeling of processes [8]. Described system of equations solved using the method of large particles with provision of generation and recombination of charges [8,9]. For undertaking the counted experiment were assigned following parameters of active FET area: gate length – 0.2 μm, active areas of source and drain are equals, the sizes of other areas is given at Fig. 1, channel length is varying from 1 μm to 2.5 μm. The gate is in the middle of the channel. Initial lattice temperature is 293 K. Gate voltage is -0.2 V. Doping levels:  $n^-$  - buffer layer –  $10^{21} m^{-3}$ ,  $n$  - channel –  $10^{23} m^{-3}$ ,  $n^+$  - contact layer –  $10^{25} m^{-3}$ . Gate metallization – Au with W sublayer.

Avalanche breakdown in FET between gate and drain begins when voltage on drain is overcritical. Further process propagation is accompanied with growing of temperature of crystalline lattice in active FET area. As failure criterion Au melting point temperature achievement in channel was selected.

The result curves describe Wunsch-Bell criterion dependence in impulse voltage - time coordinates for different channel lengths (Fig. 2). And similar dependency for relation of power to areas of cross-section of active FET area was received (Fig. 3).

### III. Conclusion

Received results show that Wunsch-Bell criterion dependence is used for FET with different geometry.