

УДК 621.396.6

АЛЕКСЕЕВ В.Ф., ЖУРАВЛЕВ В.И.

ОЦЕНКА ИМПУЛЬСНОГО ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА В МОП-ТРАНЗИСТОРЕ

Рассматривается компактная двумерная тепловая модель МОП-транзистора, позволяющая оценить локальный перегрев в области канала при импульсном воздействии. Для этого используется упрощенная модель топологии с заданными граничными условиями для решения уравнения теплопроводности. Показаны неоднородность распределения теплового потока в области канала и инициируемый градиент температуры.

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование распределения температуры в МОП-транзисторах интегральных схем вследствие самонагрева или в результате внешнего импульсного воздействия мощности представляет собой довольно сложную задачу. Однако решение подобных задач необходимо для прогнозирования изменения электрических характеристик схемы, а также для анализа ее надежности. С этой целью применяется большой ряд тепловых и термоэлектрических моделей, часто использующих громоздкие численные методы [1]. Вместе с тем, можно достаточно быстро оценить искомые характеристики, установив некоторые допущения в модели топологии и используя аналитическую модель теплопереноса.

МОДЕЛЬ ТОПОЛОГИИ

Для решения задачи необходимо задать следующие исходные данные:

- уравнение процесса;
- граничные условия;
- модель топологии для получения переменных уравнения.

Теплопереноса можно представить решение уравнения теплопроводности [2]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \nabla(K \nabla T) + q \quad (1)$$

где ρ – плотность материала кристалла; c – теплоемкость; K – теплопроводность; T – температура; τ – время; q – плотность теплового потока.

Локальная плотность теплового потока в каждой точке для двумерной модели может быть определена из выражения:

$$q = \frac{\left(\frac{J_r^2}{\mu_r} + \frac{J_z^2}{\mu_z} \right)}{e n} \quad (2)$$

где J – плотность тока в соответствующем направлении; μ – подвижность носителей заряда; e – заряд электрона; n – концентрация носителей заряда.

Анализ перегрева проведем только для эффекта Джоулева тепла, хотя другие эффекты также имеют место [3]. Ток протекает в основном в зоне канала, где генерируется большая часть теплоты. Поэтому можно рассматривать температуру канала как показатель наибольшей величины перегрева всего транзистора.

Для определения граничных условий представим топологию МОП-транзистора с некоторыми упрощениями (рис.1).

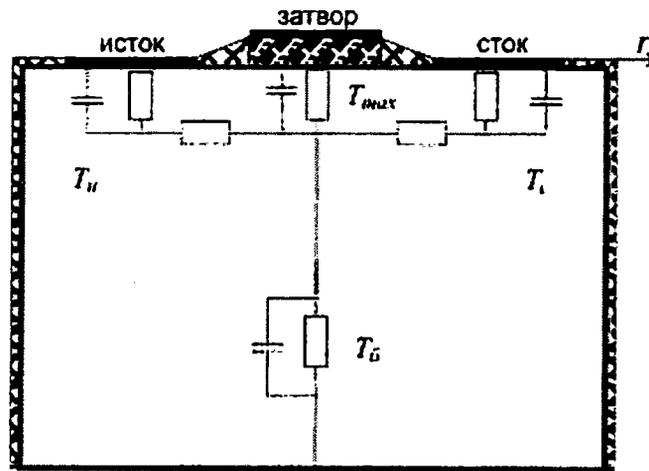


Рис.1. Упрощенная модель топологии

Контакты истока, стока и затвора обычно металлические или полисиликоновые, их теплопроводность гораздо больше, чем полупроводника, поэтому каждый контакт не имеет перепадов температуры вдоль поверхности r . Пусть размеры истока, стока и затвора в направлении r равны, тогда тепловые градиенты будут рассматривать только в горизонтальной плоскости. Другое важное допущение заключается в том, что выделяемая теплота не передается соседним транзисторам, а поглощается контактными областями. Это существенное упрощение, однако, при коротких импульсах оно вполне оправдано, так как избыточная теплота вследствие ограниченности теплопроводности просто не успеет распространиться до внешней границы транзистора. Размеры рассматриваемого транзистора равны во всех направлениях. Таким образом, граничные условия для (1) можно записать:

$$\begin{aligned} T|_{S_u+S_c+S_g} &= T_{ns} \\ T|_{S_b} &= T_b \\ n \nabla T|_{S_{dp}} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где T_{ns} – температура поверхности; T_b – температура нижней границы (базы); S – площади соответствующих границ.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕГРЕВА

Разобьем транзистор на несколько областей. Регион наибольшего генерирования теплового потока (заштрихованная область на рис.1) ограничен внутренними границами истока, стока и затвора, а также верхней границей базы. Его вертикальный размер равен глубине истока и стока. Каждую область можно представить как тепловое сопротивление вдоль направления потока теплоты, а также локальной тепловой емкостью. Значение этих параметров для каждой области можно получить, интегрируя (1) по поверхности региона. Для основной области нагрева получаем:

$$\rho c \frac{d}{d\tau} \left[(T_{\max} - T_{ns}) \int \frac{T - T_{ns}}{T_{\max} - T_{ns}} ds \right] + (T_{\max} - T_{ns}) \oint (-K n \nabla \frac{T - T_{ns}}{T_{\max} - T_{ns}}) ds = \int q ds \quad (4)$$

откуда можно определить максимальную температуру в области канала T_{\max} .

Расчеты распределения теплового потока в рассматриваемой области показывают его довольно неоднородную генерацию (рис.2).

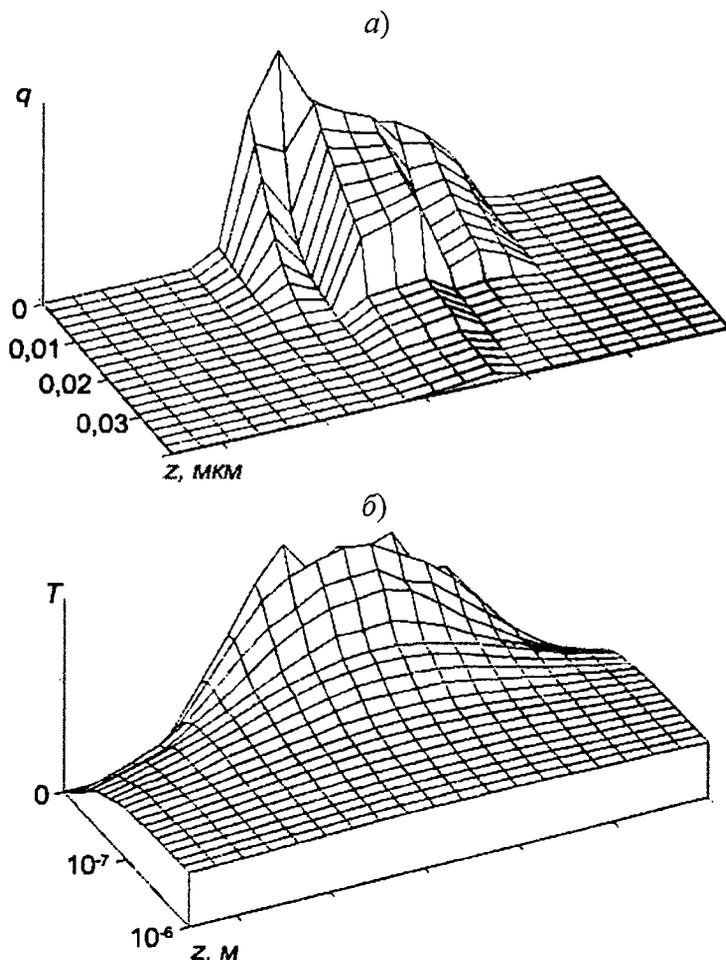


Рис.2. Вид распределений локального теплового потока и температуры нагрева

Вместе с тем инициируемое распределение температуры достаточно однородно, хотя и сосредоточено в локальной области, что можно объяснить проявлением механизма теплопроводности. Таким образом, используя некоторые упрощения, можно оценить локальный перегрев вдоль канала МОП-транзистора при импульсном воздействии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Y.C.Gerstenmaiera,*, G.Wachutka Rigorous model and network for transient thermal problems // *Microelectronics Journal*, 2002. – No.33. – Pp.719-725.
2. M.N.Sabry, W.Fikry Kh. Abdel Salam, etc. A lumped transient thermal model for self-heating in MOSFETs // *Microelectronics Journal*, 2001. – No.32. – Pp.847-853.
3. Y.Uraoka, T.Hatayama, T.Fuyuki, etc. Hot Carrier Effects in Low-Temperature Polysilicon Thin-Film Transistors // *Japan Journal of Applied Physics*, 2001. – Vol.40. – Pp.2833–2836.

Алексеев Виктор Федорович

Профессор кафедры радиоэлектронных средств, канд.техн.наук

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 17) 239-84-10

E-mail: snto@bsuir.unibel.by

Журавлев Вадим Игоревич

Ассистент кафедры радиоэлектронных средств

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел.: (+375 17) 239-89-37

Email: belyatko@bsuir.unibel.by