

Краткие сообщения

01;06

Численный анализ влияния неоднородности металлизации на тепловой режим микросхем

© Е.П. Таран, В.В. Старостенко

Симферопольский государственный университет,
333022 Симферополь, Украина

(Поступило в Редакцию 13 января 1998 г. В окончательной редакции 23 июня 1998 г.)

Выполненный численный расчет теплового режима металлизированных участков позволил установить, что происходит локальный перегрев в местах неоднородности и короткое замыкание, которое в результате приводит к отказу микросхем.

Современный этап развития полупроводниковой электроники приводит к повышению требований надежности полупроводниковых элементов, в частности интегральных микросхем (ИМС). В связи с этим возникла задача моделирования физических процессов, приводящих к отказам микросхем. Классификация отказов, приведенная в [1], показывает, что подавляющее число отказов происходит из-за дефектов металлизации и контактов, дефектов посадки кристаллов и разварки внутренних выводов. На кафедре радиофизики Симферопольского государственного университета разработана тепловая модель расчета процессов, приводящих к локальному выгоранию металлизации при прохождении тока.

Численный расчет теплового режима металлизации проводился на основе решения нелинейного уравнения теплопроводности. Неоднородность металлизации, связанная с неравномерностью диффузии кремния в алюминий, учитывалась только вдоль длины металлизации. В результате этого динамика тепловых процессов описывалась одномерным уравнением теплопроводности [2]

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(x) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q, \quad (1)$$

где c — теплоемкость единицы массы металлизации, ρ — плотность, K — коэффициент теплопроводности, T — температурное поле металлизации, Q — плотность тепловых источников (стоков).

К металлической дорожке было приложено напряжение U , которое обусловлено приложенным электрическим полем с напряженностью E ,

$$U = E \cdot d, \quad (2)$$

где d — расстояние между выводами ИМС.

Для анализа тепловых процессов в ИМС металлизация моделировалась последовательным соединением сопротивлений R_i . В результате этого мощность тепловых

источников определялась по следующей формуле

$$Q_i = \frac{U^2}{h^2 \sigma_i \left(\sum_{i=1}^N I / \sigma_i \right)^2}, \quad (3)$$

где σ_i — электропроводность i -го участка металлизации, N — число участков металлизации, h — длина однородного участка.

Электропроводность σ_i являлась функцией температуры и определялась следующим выражением [3]:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{0i}}{I + \alpha \cdot T_i}, \quad (4)$$

где σ_{0i} — электропроводность i -го участка металлизации при 0, $\alpha \cong I/273$ — температурный коэффициент сопротивления металлизации.

Для учета теплообмена микросхемы с окружающей средой была введена плотность эффективных эмиссионных стоков — Q_s . В модели предполагалось, что теплообмен с окружающей средой подчиняется закону Ньютона [3],

$$Q_s = h_t \cdot (T - \theta), \quad (5)$$

где h_t — коэффициент теплообмена; $T(t, x)$ — температурное поле металлизации; θ — температура окружающей среды.

Теплообмен границ металлизации с окружающей средой учитывался с помощью закона Ньютона [3]

$$\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_L = \lambda \cdot [T|_L - \theta], \quad (6)$$

где $\lambda = h_t/K$ — нормированный коэффициент теплообмена, K — коэффициент теплопроводности, $\theta(t)$ — температура окружающей среды, L — граница металлизации.

Температурная зависимость коэффициента теплопроводности задавалась формулой Видемана–Франца [4]

$$\frac{K(x, t)}{\sigma(x, t)} = \alpha \cdot T, \quad (7)$$

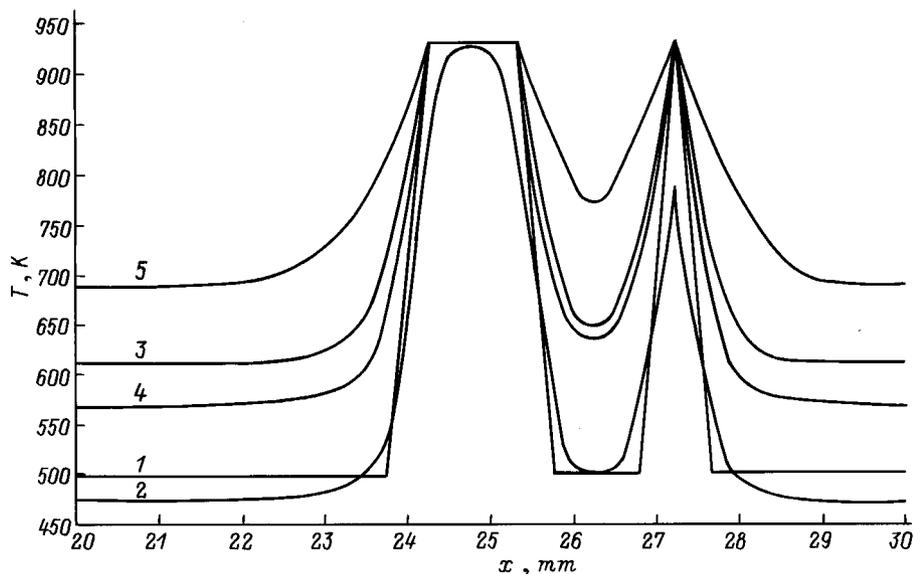


Рис. 1. Температурное поле металлизации в разные моменты времени: 1 — 1 μ s, 2–5 — 1, 1.001, 2, 2.001 μ s соответственно.

где α — коэффициент пропорциональности, не зависящий от вида металла.

Нелинейное уравнение теплопроводности (1) решалось по неявной схеме (схема с опережением) [2]. При достижении температуры плавления рассчитывалась масса расплавленного металла

$$m_p = \frac{Q_p}{\lambda_p}, \quad (8)$$

где Q_p — количество теплоты, которое расходуется на плавление металла, λ_p — удельная теплота плавления.

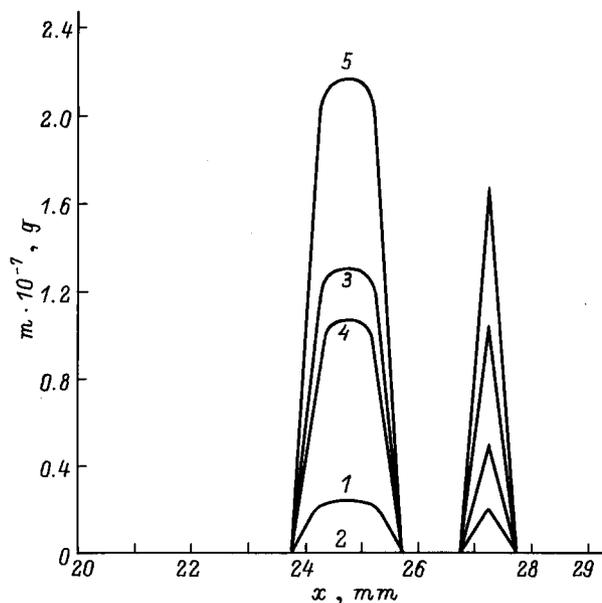


Рис. 2. Распределение расплавленных участков металлизации в зависимости от времени: 1–5 — то же, что и на рис. 1.

Для анализа влияния неоднородных участков металлизации на тепловой режим ИМС к металлизации было приложено периодическое электрическое поле с амплитудой 50 kV/m, длительностью 1 μ s и скважностью 1000.

Наличие неоднородных участков металлизации приводило к их локальному нагреву (рис. 1, кривые 1–5). Скорости процессов теплопроводности и теплообмена были намного меньше скорости накопления тепла, и поэтому наблюдался нагрев металлизации за период действия электрического поля (кривая 2 на рис. 1).

Локальный перегрев участков металлической дорожки приводил к расплавлению части металла на этих участках (рис. 2). Накопление тепла вызывало дальнейшее расплавление алюминия и после действия второго и третьего импульсов на участках с неоднородностями уже большая часть металла было представлена в расплавленном виде (рис. 2, кривые 1–4).

Скорость процесса теплопроводности была так мала, что только после действия второго импульса она начала оказывать влияние на тепловые процессы. Однако и при этом процессы "расплывания тепла" по дорожке носили достаточно ограниченный характер.

Численный анализ влияния неоднородности металлизации показал, что при протекании тока проводимости по металлической дорожке происходит локальный нагрев в местах неоднородности. Наличие локальных участков перегрева и нелинейности коэффициента теплопроводности приводит к накоплению теплоты в импульсном режиме. Это накопление теплоты приводит к расплавлению кристаллического алюминия в местах локального перегрева и может вызывать короткое замыкание металлизации через окисную пленку, что приводит к отказу микросхем.

Список литературы

- [1] *Чернышев А.А.* Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1988. 256 с.
- [2] *Самарский А.А.* Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.
- [3] *Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А.* Полупроводниковые приборы. М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
- [4] *Шашков А.Г., Бубнов В.А., Яновский С.Ю.* Волновые явления теплопроводности: системно-структурный подход. Минск: Наука и техника, 1993. 279 с.