

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ М-Д-М С ПАМЯТЬЮ В СОСТОЯНИЕ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Э.Г. Косцов, И.П. Михайловский

Известен ряд работ, появившихся в последнее время [1-3], в которых подчеркивается роль тепловых явлений в механизме переключения тонкопленочных элементов М-Д-М. Это связано с тем, что наблюдаемые экспериментально закономерности переключения этих приборов в импульсном режиме не могут быть описаны с позиции

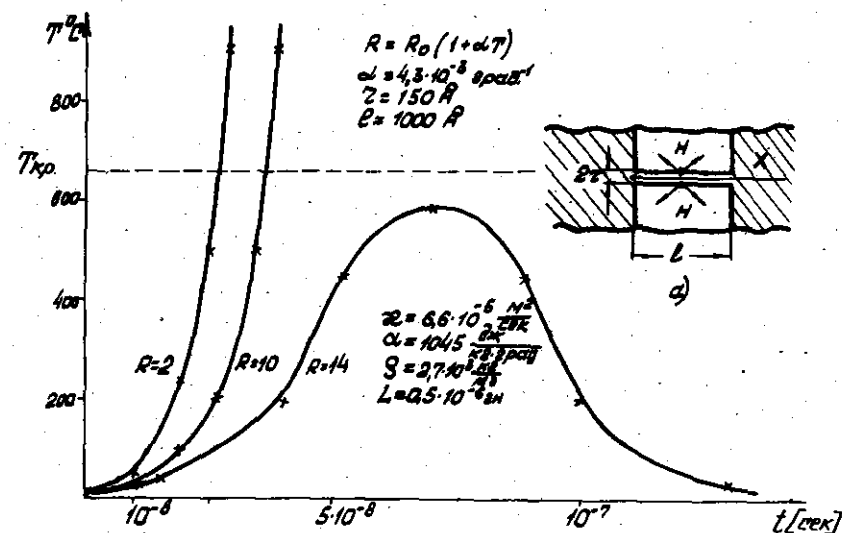


Рис. 1. а) Модель канала проводимости, б) изменение температуры в центре каналов разной электропроводности

электронных процессов, в частности механизма двойной инжекции. В то же время, например в [1], было показано, что явление переключения обусловлено тепловыми эффектами: образованием проводящих нитей (каналов) в результате изменения кристаллографической фазы в ряде материалов при достижении температуры фазового перехода.

В этой связи представляет интерес рассмотрение тепловой модели механизма переключения элемента из состояния высокой проводимости, обладающего свойством памяти, в состояние низкой проводимости. На рис. 1 а) условно показан канал высокой проводимости элемента, по которому пропускается импульс тока. Очевидно, что время установления амплитуды тока, при которой происходит нагрев канала до температуры, обуславливающей переключение, существенным образом зависит от параметров элементов схемы формирования импульса тока. Для полной характеристики процесса переключения запишем систему уравнений, описывающих нестационарное распределение температуры вдоль канала и изменение тока с учетом зависимости проводимости канала от температуры. При этом полагаем, что импульс тока переключения в канале формируется при разряде конденсатора:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2H_{sp}}{\rho a^2} (T - T_0) + \frac{i^2(t)}{\rho a^2 \gamma \sigma(T)} & (1) \\ L \frac{di}{dt} + [R + R(T)]i + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = 0 & (2) \end{cases}$$

где T_0 - температура окружающей среды, α - радиус канала, H_{sp} - коэффициент теплоотвода, α - коэффициент температуропроводности материала нити, ρ - его плотность, a - теплоемкость, $\sigma(T)$ - удельная электропроводность нити, i - ток в цепи переключения, L , R , C - соответственно индуктивность, сопротивление и емкость в цепи, $R(T) = \frac{1}{\sigma(T)} \cdot \frac{L}{\pi a^2}$, где ℓ - длина нити.

В уравнении (1) первый член характеризует распределение тепла за счет теплопроводности, второй - его отвод через боковые границы канала, третий - выделение тепла при прохождении тока, при этом учитывается зависимость проводимости канала от температуры. Второе уравнение описывает изменение тока со временем с учетом температурной зависимости проводимости канала.

Результаты решения уравнений (1), (2) для случая переключения тонкопленочного элемента $Al-Al_2O_3-Al$ в непроводящее состояние, в предположении металлического характера проводимости канала, представлены на рис. 1+5. Условия на границе соответствовали поддержанию постоянной температуры (толщина металлических электродов 8000 Å, диэлектрической пленки 1000 Å).

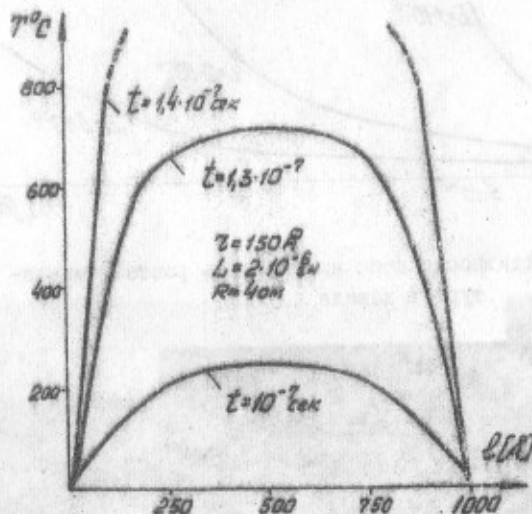


Рис. 2. Распределение температуры по длине канала в разные моменты времени

Особого внимания заслуживает рассмотрение коэффициента. При численном решении уравнений его величина определялась с помощью последовательных итераций, исходя из количества тепла отводимого вдоль направлений, обозначенных на рис. 1а) стрелками от каждого участка вдоль длины нити. При этом предполагалась осевая симметрия отвода тепла. В зависимости от места расположения участка и времени рассмотрения, величина коэффициента эффективного теплоотвода достигает значений $10^7 \div 10^8 \frac{вт}{м^2 \cdot град}$.

Рис. 2 иллюстрирует распределение температуры по длине канала в разные моменты времени.

Анализ решений этих уравнений показывает, что основной причиной, определяющей возможность пропускания тока высокой плотности, в рассмотренном случае достигающей $10^9 \div 10^{10} \frac{а}{м^2}$, является аномально большая величина удельных (относительно массы

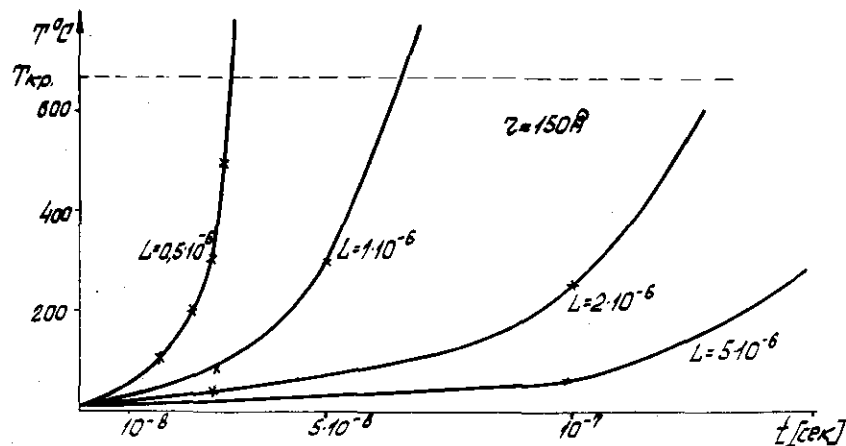


Рис.3. Влияние индуктивности цепи на скорость роста температуры в канале

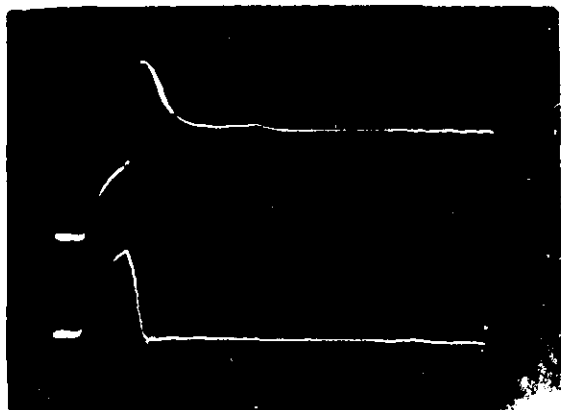


Рис.4. Типичные осциллограммы напряжения (вверху) и тока (внизу) при переключении. Масштаб по вертикали $0,5 \frac{\text{В}}{\text{см}}$; $0,05 \frac{\text{А}}{\text{см}}$; по горизонтали $2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{сек}}{\text{см}}$

нити) потоков отводимого тепла, возникающие из-за большого градиента температуры (до $5 \cdot 10^8$ град/см⁻¹ и более). Вследствие малой тепловой инерции, момент достижения температуры фазового перехода канала $T_{\text{пр}}$ или момент начала термохимических реакций, определяется в основном только абсолютной величиной протекающего через него тока. Рис. 1,3 показывают существенное влияние параметров переключающей цепи на время установления температуры.

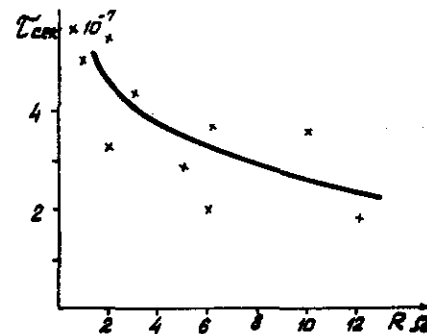


Рис. 5. Зависимость времени переключения от величины сопротивления канала

При экспериментальном исследовании переходного процесса переключения использовался также генератор, дающий фронт нарастания тока близкий к линейному. Это значительно облегчало математическое описание задачи, при сохранении её качественной стороны. На рис. 4 приведены типичные осциллограммы напряжения и тока при переключении. Экспериментальные результаты подтвердили количественные

оценки, полученные в рамках данной модели. На рис.5 приведены экспериментальные и расчетные значения времени переключения.

Отметим также, что аналогичные закономерности процесса переключения наблюдаются и на других материалах (Se , SiO).

Л и т е р а т у р а

1. Berglund C.W. and Walden R.H. "A Thin film inductance using thermal filaments", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-17, pp.137-148, February 1970.
2. Walden R.H., "Two Switching Devices Utilizing VO_2 ", IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-17, N 8, August 1970.
3. Henish H.K., Scientific American, 221, 30, 1969.