

УДК. 578.087.86.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
В ПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Ю.А. Невский, В.А. Араджиони

И. В в е д е н и е

Чрезвычайно большое количество элементов вычислительной среды, большая плотность их размещения и связанная с этим значительная мощность, выделяемая в элементе объема, налагают определенные требования к тепловому режиму работы элементов среды, определяют необходимость контроля и исследования происходящих в них тепловых процессов.

Исследованию тепловых процессов в пленочных микросхемах, используемых в электронно-лучевой технологии в качестве элементов среды, посвящено большое количество работ [1], разработаны различные приборы для контроля тепловой топографии работающих микросхем. Эти приборы позволяют получить определенную информацию о тепловых процессах в микросхемах, некоторые данные о их надежности. Однако предметом исследования в этих работах являются лишь стационарные тепловые процессы, что существенно ограничивает получаемую информацию о параметрах микросхем. При стационарном тепловом нагреве существенные трудности возникают при локализации источников тепла, что хорошо видно из рис. 1. На рис. 1 показан поперечный разрез работающей микросхемы с 2 источниками тепла 1 и 2 (пленочные сопротивления, по которым пропускается ток) и температурный профиль ее поверхности. Как видно, температуры различных точек поверхности мало отличаются друг от друга.

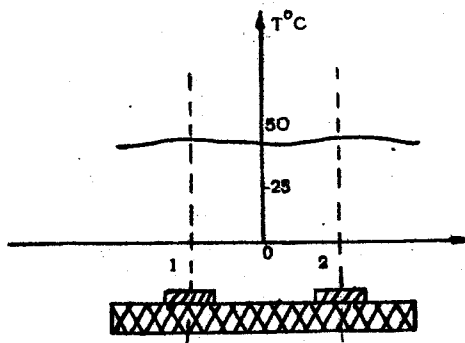


Рис.1. Поперечный разрез работающей микросхемы с двумя источниками тепла 1 и 2.

II. Приближенный анализ переходных тепловых процессов в пленочной микросхеме

Рассмотрим поперечный разрез пленочной микросхемы с источником тепла в виде длинной полоски (сопротивление I, по которому пропускается ток) (см. рис.2). Поскольку длина полоски ($x=L$) значительно больше её ширины ($L \gg F$), будем решать двумерную задачу в плоскости z, y . Для кратковременных тепловых процессов подложку 2 можно рассматривать как полуграниченное тело.

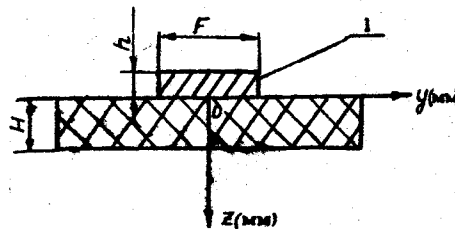


Рис.2. Поперечный разрез пленочной микросхемы с источником тепла в виде длинной полоски.

Целью настоящей работы является приближенный анализ переходных тепловых процессов в пленочных микросхемах и экспериментальное исследование переходных тепловых процессов с помощью инфракрасного микроскопа.

Тепловой баланс в пленочном сопротивлении при пропускании через него электрического тока будет

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \quad (1)$$

где q - плотность мощности, подводимой к пленочному сопротивлению (мощность в расчете на единицу площади пленочного сопротивления); q_1 - плотность мощности, передаваемой подложке за счет теплопроводности;

q_2 - плотность мощности, теряемой за счет свободной конвекции;

q_3 - плотность излучения с поверхности пленки.

В первом приближении, исходя из расчетных и экспериментальных данных, можно считать, что $q_2 \ll q$, $q_3 \ll q$, т.е. практически вся подводимая мощность расходуется на нагрев подложки путем теплопроводности.

Таким образом, пренебрегая толщиной резистивной пленки и толщиной пленки защитного покрытия (пленка SiO_2 толщиной 300 \AA), а также считая, что в самой подложке источники тепла отсутствуют и она нагревается за счет теплового потока в виде длинной полоски шириной F , численно равного q , приходим к задаче о нестационарном нагреве полуграниченного тела при граничных условиях II рода. Аналогичная задача применительно к рентгенотехнике рассматривается в работе [2]. Воспользуемся её решением:

$$T = \frac{q}{2\pi K} \int_0^{4a^2 t} \left(\frac{e^{-\xi^2}}{\sqrt{\xi}} \int_{\frac{4-0.5F}{\sqrt{\xi}}}^{\frac{4+0.5F}{\sqrt{\xi}}} e^{-\xi^2} d\xi \right) d\tau, \quad (2)$$

где t - текущее время; $\frac{4a^2}{\sqrt{\xi}}$ - коэффициент теплопроводности подложки; a - коэффициент температуропроводности подложки. В этой формуле нас интересуют значения температуры T , соответствующие $Z=0$ (температура поверхности).

Температура поверхности стеклянной подложки, определяемая по формуле (2), была вычислена на ЭВМ для разных значений q , y , t (при $F = 0,01 \text{ см}$).

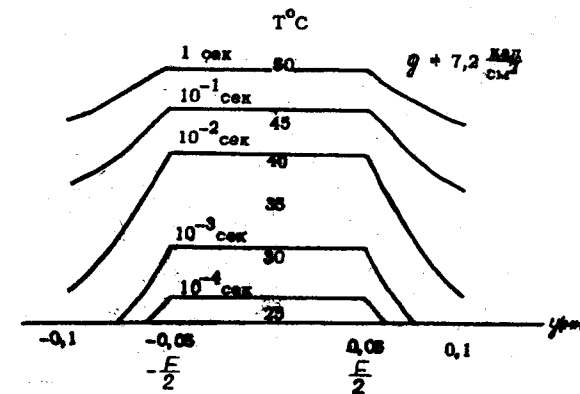


Рис.3. График зависимости температурного профиля от времени

Результаты вычислений представлены на рис.3 в виде графиков. Из графиков видно, что с увеличением времени значение температуры в точке $y=F$ стремится к значению температуры в точке $y=0$. Для сравнительно небольших значений вре-

мени ($t < 0,1$ сек) наблюдается резко выраженный прямоугольный температурный профиль полосы сопротивления. С ростом времени по мере нагрева близлежащих областей подложки картина расплывается и в пределе приобретает вид, показанный на рис.1 для стационарного режима.

Поскольку $q = 0,24 \frac{JR}{FL}$ и $R = \rho \frac{L}{Fh}$, где ρ - удельное сопротивление пленки, то формулу (2) можно переписать в виде:

$$T = \varphi_1(q, k, a, t, y, F) = \varphi_2(J, R, L, k, a, t, y, F) = \varphi_3(J, \rho, h, L, k, a, t, y, F) = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3)$$

Если известны $n-1$ параметров и измерено соответствующее значение T , то уравнение (3) разрешается относительно неизвестной величины x_i :

$$x_i = \psi(T, x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n). \quad (4)$$

Таким образом, из приведенного выше приближенного анализа видно, что, применяя импульсный режим питания резистивных элементов микросхем, можно по импульсному тепловому излучению легко локализовать источники тепла на поверхности микросхемы, а также исследовать ряд их параметров.

III. Описание экспериментальной установки

Для исследования переходных тепловых процессов в пленочных микросхемах была разработана установка, блок-схема которой приведена на рис.4. Инфракрасный микроскоп (1) служит для контроля локальной температуры поверхности исследуемой пленочной микросхемы. Он имеет следующие характеристики: диапазон контролируемых температур, определенный по абсолютно черному телу, 35-150°C; диаметр контролируемой поверхности 250 микрон; частоту модуляции теплового потока около 90 гц [8]. Благо-

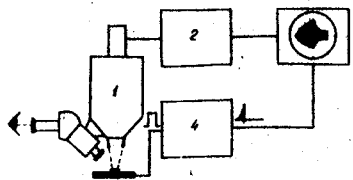


Рис.4. Блок-схема экспериментальной установки.

даря фиксированной частоте модуляции и последующему селективному усилению удается снизить уровень шумов. Данная частота модуляции позволяет исследовать переходные тепловые процессы длительностью не менее 0,01 сек.

Усилитель (2) служит для усиления электрических сигналов, снимаемых с приемника излучения. В качестве усилителя использован селективный усилитель типа Б6-4.

Усиленные сигналы поступают на вход осциллографа СИ-19 (3), работающего в ждущем режиме. Запуск развертки осуществляется импульсами синхронизации, соответствующими начальному моменту подачи напряжения на исследуемую схему и поступающими с импульсного источника питания. Исследуемый сигнал с экрана осциллографа фотографируется.

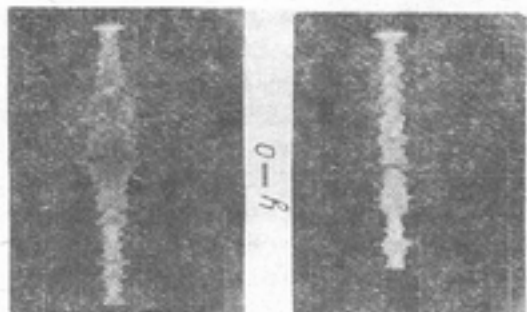
Импульсный источник питания (4) обеспечивает однократные импульсы напряжения амплитудой 0 - 50 в, длительностью 1 сек с фронтами менее 1 мсек и представляет собой релейную схему.

IV. Обсуждение результатов

Измерение импульсной температуры поверхности для разных значений импульсного напряжения U , питающего сопротивление, производилось в середине пленочного сопротивления ($y=0$) и в примыкающей к нему области подложки ($y=F=1$ мм). На фото показаны осциллограммы сигналов, соответствующих различным значениям y и U . Длительность импульсов напряжения для всех случаев составляет 1 сек, длина 1 клетки масштабной сетки соответствует 133 мсек. Максимальные значения сигналов на осциллограммах соответствуют максимальным температурам 33°C, 48°C и 64°C при $y=0$ и соответственно 25°C, 27°C и 31°C при $y=1$ мм. Градуировка установки производилась по абсолютно черному телу с учетом излучательной способности исследуемой схемы ($\epsilon \approx 0,9$). Начальная температура образца 24°C.

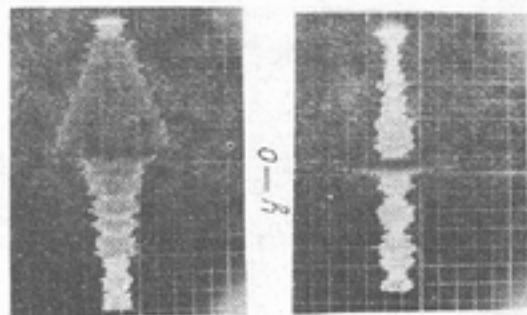
Из нижеприведенной таблицы видно, что измеренные значения импульсной температуры, соответствующей моменту $t = 1$ сек, удовлетворительно совпадают с расчетными значениями, вычисленными по формуле (2).

600 — 700



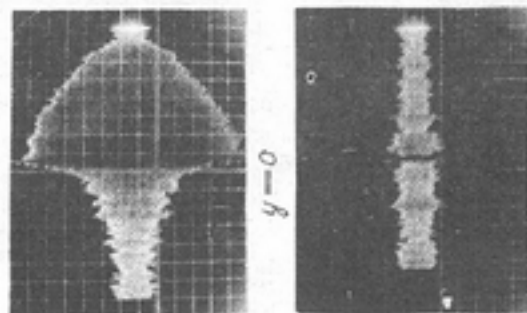
y = 0

800 — 700



y = 0

900 — 700



y = 0

Фото. Осциллограммы сигналов переходных тепловых процессов

Таблица

| U | T | T _{расч} °C | T _{изм} °C |
|------|---|----------------------|---------------------|
| 30 в | | 34 | 33 |
| 40 в | | 41 | 48 |
| 50 в | | 30 | 64 |

$$q = 0,24 \frac{U^2}{R};$$

$$R = 650 \text{ см};$$

$$y = 0$$

Расхождение в значениях экспериментальных и расчетных данных объясняется, во-первых, приближенным характером теории, во-вторых, инструментальными погрешностями, вызванными большим уровнем шумов, недостаточной чувствительностью установки и приближенным значением ϵ .

На рис. 5 показана зависимость максимальной величины сигнала от подводимой к сопротивлению импульсной мощности.

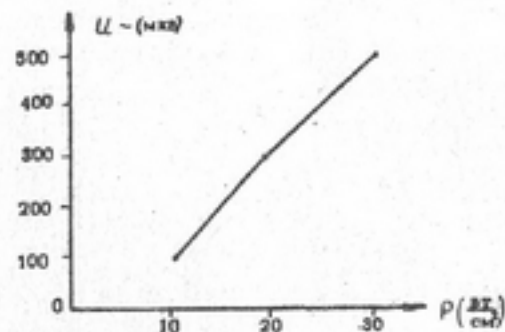


Рис. 5. Зависимость максимальной величины сигнала от импульсной мощности, подводимой к сопротивлению.

У. Выводы

1) Полученные экспериментальные данные находятся в удовлетворительном соответствии с расчетными. Это обстоятельство позволяет при нестрогих расчетах пользоваться приближенной теорией переходных тепловых процессов, изложенной выше.

2) Экспериментально показана возможность бесконтактного контроля импульсной мощности в пленочных сопротивлениях по ИК излучению.

3) Экспериментально показана возможность локализации источников тепла в пленочной микросхеме при импульсном режиме питания.

В заключение отметим, что для точного количественного контроля параметров пленочных микросхем и существенного уменьшения уровня контролируемой импульсной мощности в сопротивлениях нужно уменьшить уровень собственных шумов установки, повысить её чувствительность (обеспечить уверенный контроль импульсных температур, начиная с $10-20^{\circ}\text{C}$), увеличить разрешающую способность по времени (что достигается увеличением частоты модуляции до 1000 гц или работой приемника излучения в импульсном режиме с широкополосным усилителем), термостатировать исследуемую микросхему на уровне $0-10^{\circ}\text{C}$ и контролировать излучательную способность исследуемой поверхности. Реализация всех этих требований не встречает принципиальных затруднений.

Применение форсированных импульсных режимов питания пленочных микросхем, возможно, будет полезным при испытании микросхем на долговечность и надежность.

Л и т е р а т у р а

1. А.С. НУДЕЛЬМАН, Ю.А. НЕВСКИЙ, А.И. ТРУБЕЦКОЙ. Методы контроля при производстве твердых и пленочных микросхем. Обзор, 1967, МРЭП.
2. Ф.Н. ХАРАДЖА. Общий курс рентгенотехники. Энергоиздат, 1956.
3. В.А. АРАДЖИОНИ, Ю.А. НЕВСКИЙ, В.И. КОКОУЛИН. Инфракрасный микроскоп для контроля локальных температур пленочных микросхем. — Данный сборник, стр. 47-52.

Поступила в редакцию
5.УІ. 68 г.