

УДК 621.382

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МИКРОСХЕМАХ

© 2014 Г.Ф. Краснощекова, С.В. Тюлевин, А.В. Наседкин, Р.О.Мишанов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрена методика анализа температурных напряжений в полупроводниковых и плёночных микросхемах. Проведён анализ основных типов температурных напряжений: изгиба, сдвига, внутренних. Приведены выражения для оценки температурных напряжений.

Микросхема, температурные напряжения, анализ, методика, распределение температуры, тепловой поток.

Параметры радиоэлементов в той или иной степени зависят от температуры. В ряде случаев тепловой режим определяет работоспособность этих элементов.

Это касается не только абсолютных значений, но и значений теплового потока и характера распределения температуры, которые ведут к возникновению температурных деформаций и температурных напряжений, потому что применяемые материалы и многослойные конструкции микроэлектроники оказываются весьма чувствительными к температурным напряжениям и деформациям.

Уменьшение размеров кристаллов приводит к возрастанию плотностей тока и ведет к повышению интенсивности теплового режима, росту колебаний температуры в активной зоне.

Кроме того, микроэлектронные приборы представляют собой сложные многокомпонентные статически неопределенные системы. Неудачная совокупность параметров (теплофизических свойств), градиентов температуры могут вызвать значительные механические напряжения.

Тепловое напряжённое состояние обладает рядом специфических свойств, которые не свойственны обычным механическим нагрузкам. Различаются напряжения, которые возникают при стационарном процессе распространения тепла, и нестационарные напряжения, которые возникают в момент нагрева или охлаждения, особенно напряжения в двух- или трёхслойных конструкциях

интегральных микросхем типа электрод-кристалл-подложка.

Рассматривая на плоскости элемент и обозначая перемещения вдоль осей А, В, для плоского напряжённого состояния после приложения нагрузки осевую и угловую деформацию можно записать:

$$\varepsilon_x = \frac{dA}{dx}; \varepsilon_y = \frac{dB}{dy}; V_{xy} = \frac{dA}{dx} + \frac{dB}{dy}.$$

Деформации можно выразить через нормальные σ_x, σ_y и касательные τ_{xy} напряжения и коэффициенты упругости материалов:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu\sigma_y), \varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu\sigma_x),$$

$$V_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G},$$

и, наоборот, напряжения можно выразить через деформации:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y);$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x); \tau_{xy} = G - V_{xy}; G = \frac{E}{1+2\mu},$$

где E – модуль упругости,

σ – модуль сдвига,

μ – коэффициент Пуассона.

При изменении температуры стержня длиной l на величину ΔT происходит изменение длины стержня на величину $\Delta l = \alpha_T l \Delta T$, где α_T – температурный коэффициент. Тогда температурную деформацию можно представить как:

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta l}{l} = \alpha_T \Delta T.$$

Когда температурные деформации затруднены, то возникают температурные напряжения:

$$\sigma = \varepsilon_T E; \tau = V_T \sigma.$$

Температурные деформации иногда удобно выражать через эквивалентную механическую нагрузку, которая вызывает подобные напряжения. При этом различают несколько типов температурной деформации.

Температурные напряжения типа изгиба. Рассмотрим пластинку кристалла толщиной h и длиной l , передающую тепловой поток q в стационарном режиме. Если T - установившаяся температура, а T_0 - начальная температура, то общую температурную деформацию можно представить в виде суммы деформаций от нагрузок растяжения и изгиба:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cp} &= \alpha_T (T_{cp} - T_0), \\ \varepsilon_n &= \alpha_T (T - T_{cp}), \end{aligned}$$

где ε_{cp} - средняя деформация;

T_{cp} - средняя температура;

ε_n - деформация типа изгиба.

Если известен передаваемый тепловой поток:

$$q = \lambda \frac{2(T - T_{cp})}{h},$$

где λ - коэффициент теплопроводности кристалла, то можно найти напряжения, соответствующие жёсткой заделке пары краев кристалла:

$$\begin{aligned} \sigma_{cp} &= \alpha_T E (T_{cp} - T_0), \\ \sigma_n &= \lambda_T E \frac{q h}{2\lambda}. \end{aligned}$$

Температурные напряжения типа сдвига. Для плёночных микросхем или тонких кристаллов с относительно жёстким электродом и подложкой опасными являются касательные напряжения, возникающие при работе в импульсном режиме. Так как обычно теплопроводность плёнки значительно меньше теплопроводности токовода, то можно считать, что температура подложки останется равной T_0 , а температура токовода равна T_n .

Перемещение на длине l при симметричной деформации от центра равно

$$\Delta l = \frac{\alpha_T l}{2} (T_n - T_0).$$

Угловая деформация определяется формулой:

$$\gamma = \frac{\Delta l}{h}.$$

Тогда касательное напряжение на плёнке трёхслойной микросхемы будет равно:

$$\tau = \alpha_T \sigma \frac{l}{2h} (T_n - T_0).$$

где C_v - удельная теплопроводность токовода;

V - объём токовода;

T_n - средняя температура токовода;

$T_{среды}$ - температура окружающей среды;

S - площадь токовода;

α - некоторый средний коэффициент теплопередачи.

Из условия сохранения энергии получим:

$$T_n - T_{среды} = \frac{P_n \cdot t_n}{C_v \cdot V + \alpha S t_n}.$$

Внутренние температурные напряжения. В общем случае распространение тепла (температурные деформации) приводят к возникновению напряжений. Назовём их внутренними температурными напряжениями независимо от способов закрепления. Такие напряжения встречаются на кристаллах и схемах при наличии тепловых потоков электрических потерь.

Пусть в стационарном режиме удельная объёмная мощность потерь будет равно P . Уравнение теплопроводности можно записать в виде

$$\lambda \frac{d^2 t}{dx^2} = P.$$

Интегрируя с учётом тепловых усилий, получим распределения температуры:

$$T = T_m - \frac{Px^2}{2\lambda},$$

где T_m - температура в центре пластины. Деформация и температура связаны между собой:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \alpha_T (T - T_0), \\ \frac{d^2 \varepsilon}{dx^2} &= \alpha_T \frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{P}{\lambda}. \end{aligned}$$

Тогда после интегрирования получим

$$\varepsilon = \varepsilon_m = \frac{Px^2}{2\lambda},$$

где ε_m - деформация в центре пластины.

При свободной деформации без закрепления напряжения определяются только распределением температуры.

Библиографический список

1. Взятыхшев В.Ф. Методы поиска проектно-конструкторских решений при разработке радиоэлектронных средств. М: изд-во МЭИ, 1983. 85 с.

Информация об авторах

Краснощёкова Галина Фёдоровна, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: моделирование процессов в радиоэлектронных средствах.

Тюлевин Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: контроль, качество и надёжность космической аппаратуры.

Наседкин Алексей Васильевич, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: контроль и испытание радиоаппаратуры.

Мишанов Роман Олегович, студент кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kipres@ssau.ru. Область научных интересов: контроль и испытание радиоаппаратуры.

METHODOLOGY OF ANALYSIS TEMPERATURE STRESSES IN CHIPS

© 2014 G.F. Krasnoschekova, S.V. Tyulevin, A.V. Nasedkin, R.O. Mishanov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

The article describes the method of analysis of thermal stresses in semiconductor chips and foil. The analysis of the main types of thermal stress: bending, shear, internal. The expressions for the evaluation of thermal stresses.

Microchip, thermal stress analysis, technique, the distribution of temperature, heat flux.

References

1. Vzyatyshev V.F. Methods of search design and engineering solutions in the development of radio electronic means. M.: publ. MEI, 1983. 85 p.

About the authors

Krasnoshchekova Galina Fedorovna, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of design and technology of electronic systems and devices. E-mail: kipres@ssau.ru. Area of research: modeling of processes in radioelectronic means.

Tyulevin Sergey Virtorovich, Candidate of Sciences (Engineering), assistant professor of design and technology of electronic systems and devices. E-mail: kipres@ssau.ru. Area of research: control, quality and reliability of spacecraft.

Nasedkin Aleksey Vasilevich, post-graduate student, Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices. E-mail:

kipres@ssau.ru. Area of research: control and Test-radio.

Mishanov Roman Olegovich, student, Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices. E-mail: kipres@ssau.ru. Area of research: control and Test-radio.