

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРЕНОСА ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ И ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ

Л.Д. Коноваленко, В.И. Андреев, В.И. Солошенко
В.И. Молчанюк, И.Н. Барба, Е.В. Гречан

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,

В настоящей работе изучалась многослойная модельная система (рис. 1): горючая среда – токоведущий слой – подложка. Как среда было выбрано горючее вещество (ГВ) – азид свинца. В качестве конденсированных сред рассматривались системы, состоящие из слоев Si – Si, Si – SiO₂, Al – Si, Al – SiO₂. Расчет нагрева поверхности для систем был проведен как без учета среды, так и с учетом ее наличия. Рассматривалось влияние теплофизических характеристик слоев на процесс нагрева и передачи тепла ГВ.

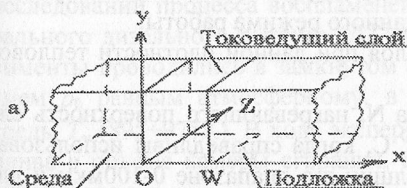


Рис. 1. Схематическое изображение системы

Имеющиеся экспериментальные результаты позволили предложить следующую физическую модель – процесс энерговыделения проходит три стадии, следующие одна за другой: 1 - электронная стадия, в течение которой электронные процессы (например, ударная ионизация или двойная инжекция) за короткое ($\sim 10^{-8}$ - 10^{-7} с) время приводит к сильному увеличению проводимости структуры; 2 - тепловая стадия (длительностью $\sim 10^{-6}$ - 10^{-5} с [1]) – начинается тепловым пробоем полупроводника; 3- стадия воспламенения – передача энергии ГВ для возникновения в нем самоподдерживающийся химической реакции [2, 3].

Был проведен расчет временных зависимостей температуры поверхности T от плотности энерговыделения в нагреваемом слое и параметров самой структуры (конструкция, размеры слоев) и характеристик среды в которой находится система.

Полученные зависимости позволяют провести сравнение различных конструкций и рассчитать параметры на начальной стадии нагрева, а также полезны при расчете некоторых элементов конструкции, например, необходимых размеров токоподводящих контактов. Температура на границе слоя связана с плотностью теплового потока N через эту границу,

временем нагрева и параметрами тела следующим образом:

$$T(o.t) = \frac{2N}{k} \sqrt{\frac{kc\lambda}{\pi}} t,$$

а отношения температуры на границе к полной плотности теплового потока N определяется выражением:

$$\frac{T}{N} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{k_1 c_1 \gamma_1 + \sqrt{k_2 c_2 \gamma_2}}}$$

где k_i – теплопроводность, c_i – теплоемкость, γ_i – плотность соответствующих областей, $q = E^2/\rho$ – плотность мощности, выделяемой в токоведущем слое «0» на единицу объема, E – напряженность поля, ρ – удельное сопротивление токоведущего слоя, плотности теплового потока $N = E^2 w/\rho$.

Полученные зависимости дают связь между длительностью импульса t , толщиной энерговывделяющего слоя w , плотностью теплового потока N и температурой поверхности слоя T . Это позволило для конкретных систем (Si – Si, Si – SiO₂, Al – Si, Al – SiO₂) рассчитать как в отсутствии среды, так и при наличии ее, для заданного режима работы:

1. Температуру поверхности слоя при данной плотности теплового потока;

2. Плотность теплового потока N , нагревающего поверхность слоя до заданной температуры (до 1000° С, когда справедливы использованные допущения), для различных толщин z в диапазоне 0-100мкм и длительностей импульса t от 10⁻⁷с до 10⁻⁴с.

Оценены КПД структур: на основе системы Si – Si ~ 10%, для Si – SiO₂ ~ 25%.

Литература

1. Коноваленко Л.Д., Кушніренко В.В., Нінідзе Г.К., Павлюк С.П. Фізичні ефекти в структурах «кремній з діелектричною ізоляцією» при протіканні великих струмів. // Вісник Київського університету. Серія: фізика і математика. – 2004. – Вип. I. – С. 325 – 334.
2. Коноваленко Л.Д., Макордей Ф.В., Андреев В.И., Барба И.Н. Механизмы воспламенения горючих веществ полупроводниковыми мостиками. // Физика аэродисперсных систем. – Одесса: Астропринт, 2003. – Вып. 40. – С. 102 – 105.
3. Коноваленко Л.Д., Макордей Ф.В., Андреев В.И., Солошенко В.И., Молчанюк В.И., Барба И.Н. Низкотемпературная плазма в полупроводниковых источниках микронагрева // Тез. Докл. XXIII научн. Конфер. стран СНГ „Дисперсные системы” – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 226 – 227.