

значения угла отклонения φ и угловой скорости ω , можно видеть зависимость времени установления процесса ориентации от каждого из этих параметров. Исследования были проведены для углов поворота вокруг разных осей для спутника массой 50 кг, имеющего диаметр токонесущих контуров 5 м. При этом расчетные моменты инерции были равны $J_x=J_y=24.3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_z=15.3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Время приведения при начальном отклонении 15° , начальной угловой скорости 0 рад/с и токах $I_1=1 \text{ мА}$, $I_2=I_3=100 \text{ мА}$ составляет порядка 1000 секунд.

ПРОВОДИМОСТЬ УДАРНО-СЖАТЫХ МДМ - СТРУКТУР

Барышев Е.Ю.

Изучение процессов, протекающих при взаимодействии высокоскоростных частиц с металлами [1,2], полупроводниками, диэлектриками [3,4], представляет значительный научный и практический интерес в связи с использованием таких материалов в качестве преобразователей физико-химических параметров частиц [5,6], элементов контроля работоспособности частей конструкций космических аппаратов [7]. Теория этих процессов уже создана и для удара бойка в однородную среду существуют методы получения математических моделей.

При ударе бойка о мишень в ней возникает ударная волна, мощность которой зависит от импульса ударяющей частицы. Фронт этой волны в мишени представляет собой полусферу, ее прохождение вызывает выделение энергии, которая идет на увеличение температуры вещества.

В данной работе приводится приложение метода крупных частиц к расчету параметров неоднородной мишени, в частности слоистой МДМ - структуры (металл - диэлектрик - металл). Датчик представляет собой конденсатор с толстым основанием и напыленными на нее диэлектриком и верхней обкладкой. Резкое увеличение проводимости ударносжатых МДМ - структур обусловлено как сжатием вещества, так и термической ионизацией [8]. Ионизация испаренного в результате удара вещества бойка и мишени происходит за счет приложенного к обкладкам конденсатора напряжения порядка 100 В и высокой температуры.

Преобразователи частиц на основе полиметилметакрилата обладают высокой чувствительностью к удару, надежностью и стабильностью характеристик в космических условиях. Для определения проводимости ударносжатых диэлектриков МДМ - структуры как функции времени, параметров частицы решается система уравнений гидродинамики и элект-

тродинамики с использованием уравнений состояния для металла (алюминия) и диэлектрика (полиметилметакрилата)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{W}) = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial(\rho \vec{W}_i)}{\partial \rho} + \operatorname{div}(\rho W_i \vec{W}) + V\rho = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial(\rho E)}{\partial E} + \operatorname{div}(\rho E \vec{W}) + \operatorname{div}(\rho \vec{W}) = 0, \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p = p(\rho; E - W^2/2), i=1,2\dots, \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p = a\rho^3; T = \frac{p - a(\rho^3 - \rho_0^3)}{4\rho N}. \end{array} \right. \quad (5)$$

где (1)-(5) - соответственно записаны законы сохранения массы, импульса и энергии, а также уравнений состояния вещества алюминия и диэлектрика.

Температура T определяется из трехчленного уравнения состояния [8], величины давления p , энергии E , скорости частицы \vec{W} , плотности ρ в зависимости от времени найдены в результате решения уравнений методом крупных частиц [9]. Здесь рассматривается случай соударения частицы с МДМ - структурой, нанесенной на полубесконечной преграде [7]. В качестве преграды используется верхняя обкладка конденсатора из алюминия, т. е. образование кратера происходит без механического разрушения диэлектрика [4,7]. Для алюминиевой обкладки применено уравнение состояния в виде [10]

$$p = p_c(v) + \frac{\gamma(v, \varepsilon)}{v} [\varepsilon - \varepsilon_c(\tau)],$$

$$\text{где } p_c(v) = \frac{C_{mn}}{v} (\sigma_c^m - \sigma_c^n); \sigma_c = \frac{v_{00}}{v}; \sigma = \frac{v_0}{v}$$

$$v = \frac{1}{\rho}; \varepsilon_c(v) = c_{mn} \left(\frac{\sigma_c^m}{m} - \frac{\sigma_c^n}{n} \right) + \varepsilon_0,$$

$$\gamma(v, \varepsilon) = \frac{2/3 + (\gamma_0 - 2/3) \left(1 + \sigma_m^{2\alpha} \right) \sigma^\alpha / \left(\sigma^{2\alpha} + \sigma_m^{2\alpha} \right)}{1 + (\varepsilon + \varepsilon_c(v)) / \varepsilon_\alpha}$$

$v_{00}=0,369 \text{ см}^3/\text{г}; v_0=0,361 \text{ см}^3/\text{г}; \gamma_0=2,19; \sigma_m=0,95;$
 $\alpha=8; m=1,8; n=0,6; c_{mn}=23,399 \text{ Дж/г};$
 $\varepsilon_\alpha=3,06\text{кДж/г}; \varepsilon_s=12,2 \text{ кДж/г}; [p]=10^4 \text{ бар}; c_p=1,425 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)},$

В качестве диэлектрика используется полиметилметакрилат с уравнением состояния (5), взятого из [11]. Закон изменения электропроводности ударносжатой МДМ - структуры берётся в виде [8]

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-\Delta E/kT),$$

где $\sigma_0 = 7059 \cdot (\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$, для полиметилметакрилата примем $\Delta E = 1,2 \text{ эВ} \approx \text{const}$ в диапазоне скоростей частиц $1 \dots 10 \text{ км/с}$. Давление в области диэлектрика зависит от толщины верхней обкладки МДМ - структуры.

В результате решения системы уравнений (1-5) определены значения E , p , ρ , характеризующие поведение веществ во времени. Программа позволяет рассчитать также поле температур в ячейках. Расчеты использованы для вычислений удельной электропроводности, зависящей от температуры ударносжатого канала проводимости МДМ - структуры. Зная температуру по известной функции $\sigma = \sigma(T)$ определяют σ , либо, зная σ и T можно установить эмпирическую зависимость σ от T .

На рисунке представлен результат расчета по программе для следующих исходных данных: толщины верхней обкладки, диэлектрика и нижней обкладки структуры составляет 20; 2; 20 мкм соответственно, размер частицы - 1 мкм, материал обкладок - алюминий, диэлектрик - полиметилметакрилат.

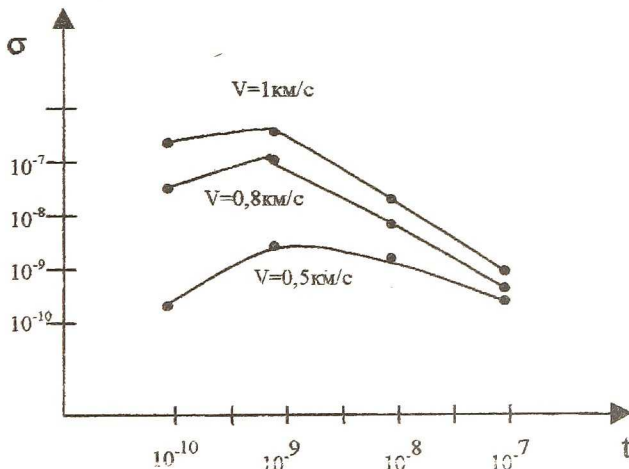


Рис.1. График зависимости проводимости ударносжатой МДМ-структуры от времени.

Результаты расчёта показывают на высокую чувствительность плёночной МДМ - структуры к ударному воздействию. Так при скорости частицы равной 5 км/с и размера её равного 1 мкм электропроводность ударносжатого канала изменяется на семь порядков. Температура

$T=900^{\circ}\text{C}$; $\sigma=10^6$ А; $\rho=4,5\cdot 10^3$ кг/м³; $p_d=3\cdot 10^9$ Па, что по порядку величины соответствует экспериментальным результатам [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокоскоростные ударные явления/Под ред. В.Н. Николаевского, М.:Мир, 1973.
2. Н.А. Иногамов, А.Б. Константинов, С.И. Анисимов, С.Б. Житин Эмиссия веществ при гиперсверхзвуковом ударе. ЖЭТФ, т.99. вып.6 - 1991. - С. 1699-1710.
3. Pailer N., Kissel J., Schneider E.A. A capacity type detector for measurement low-velocity dust particles. Space Sci. Instr. - 1978 - 4 - p.1,85-100
4. Семкин Н.Д., Семенчук С.М., Юсупов Т.Я. Эффект стационарного свечения канала проводимости ударносжатого диэлектрика МДМ - структуры. Письма в ЖТФ, - т.14, - вып.6 - С.517 -521.
5. Сагдеев Р.З., Киссель И. и др. Первые результаты измерений элементного состава пылевых частиц комет Галлея, полученных приборами ПУМА в проекте "Вега". // Письма в АЖ, - т.12 - №8 - 1986
6. Новиков Л.С., Семкин Н.Д., Куликаускас В.С. Масс-спектрометрия ионов, эмитируемых при соударении частиц с материалами. // ФХОМ, - 1989 - №6 - С.49-56
7. Семкин Н.Д. Исследование характеристик конденсаторного датчика для регистрации твердых частиц с помощью импульсного лазера. Изв. Вузов Приборостроение, - т.ХХIX - №8 - 1986 - С.60 -64
8. Зельдович Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. - М.:Наука,1966-607с.
9. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука - 1982 - 181 с.
10. Альтшуллер Л.В. и др. // ЖЭТФ - 1960 - т.38 - вып.3 - С.791
11. Drapats S., Michel K.W. Theory of shock - wave ionization high-velocity impact of micrometeorites. // Z. Naturforsch - 1974 - 29 - p.870-879

ДЕТЕКТОР ТЕХНОГЕННЫХ И МИКРОМЕТЕОРИТНЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ АКТИВНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ МДМ-СТРУКТУРЫ

Ротов С.В., Семкин Н.Д.

В основе принципа регистрации рассматриваемого детектора лежит явление образования носителей заряда (ионов и электронов), инициируемого высокоскоростным взаимодействием космической частицы с чувствительной поверхностью детектора. Чувствительная поверхность выполнена на основе активной пленочной структуры металл-диэлектрик-металл (МДМ). Образование носителей заряда обусловлено ионизацией локальной области поверхности детектора вследствие ее высокого разогрева и электрического пробоя МДМ-структуры.

Конструктивно датчик выполнен в виде двух концентрических пленочных сфер, соединенных между собой растяжками. Внешняя сфера