

Рис.3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматгиз, - 1966.
2. Гришин В.К., Семкин Н.Д., Юсупов Г.Я. Расчет ионного спектра, образованного ударной плазмой во время пролета масс-спектрометре. // Методы обработки и отображения информации в радиотехнических устройствах: Сб. науч. трудов. Куйбышев, КуАИ, - 1985.
3. Телеснин Р.В., Яковлев В.Ф. Курс физики. М.: Просвещение, - 1970.
4. Ораевский В.Н. Плазма на Земле и в космосе. Киев: Наукова думка, - 1974.
5. Воронов К.Е., Семкин Н.Д. Проводимость ударно-сжатой МДМ структуры на основе полиметилметакрилата: Сб. науч. трудов. Самара, СГАУ, - 1998.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНО-СЖАТОЙ МДМ-СТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО УСКОРИТЕЛЯ

Занин А.Н., Воронов К.Е.

В настоящее время, при исследовании пылевой составляющей оксюземного космического пространства, достаточно часто используются преобразователи на основе МДМ-структур (металл-диэлектрик-металл)-конденсаторные датчики. Они обладают высокой чувствительностью к удару, надежностью и стабильностью в космических условиях, позволяют создавать преобразователи с большими площадями чувствительных поверхностей и имеют при этом слабую зависимость от места соударения с пылевой частицей.

Конструктивно датчики выполняются либо в виде тонкопленочных конденсаторных преобразователей либо в виде конденсаторных преобразователей на полубесконечных основаниях, причем практически все они используются в режиме регистрации пылевой частицы.

Так как в основе конденсаторного датчика лежит свойство резкого увеличения проводимости ударносжатых МДМ-структур в результате взаимодействия с ними пылевой частицы, с целью расширения общей зоны регистрации и определения параметров пылевой частицы в ряде работ [1,2] предложено измерять изменение проводимости ударносжатых МДМ-структур.

В наиболее общем случае [3] для определения проводимости ударно-сжатых диэлектриков МДМ-структуры как функции времени, параметров частицы решается система уравнений гидродинамики и электродинамики с использованием уравнений состояния для металла и диэлектрика. В работе [4] предлагается к рассмотрению упрощенная модель расчета электропроводности МДМ-структуры, выведенная на основе Больцмановской зависимости изменения проводимости, для случаев механически не пробиваемого и пробиваемого конденсатора. Несмотря на некоторые упрощения при рассмотрении процессов взаимодействия, модель дает хорошую качественную оценку.

Получены выражения для проводимости не пробиваемой

$$G_g = G_0 \left[1 + \left(\frac{\sigma_0 \exp(-\Delta E T^{-1})}{\sigma_0 \exp(-\Delta E T_0^{-1})} - 1 \right) \frac{\pi [(Dt + L + d)^2 - (L + d)^2]}{S_g} \right]$$

и пробиваемой ударно-сжатой МДМ-структуры

$$G_g = G_0 \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{\sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right)}{\sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{T_0}\right)} - 1 \right) \cdot \pi \cdot [(D \cdot t + r_x)^2 - r_x^2]}{S_g} \right],$$

где σ_0 - удельная проводимость диэлектрика, ΔE - энергия активации, T - температура во фронте ударной волны, D - скорость распространения ударной волны в диэлектрике, $L + d$ - возмущенная часть диэлектрика, S_g - площадь датчика, r_x - характерный размер частицы, G_0 - начальная проводимость датчика.

Для получения импульса напряжения с ударносжатой МДМ-структуры использовалось численное решение уравнения Кирхгофа для эквивалентной электрической схемы конденсаторного преобразователя. В результате моделирования получены характеристические зависимости напряжения с конденсаторного датчика от массы и скорости пылевой частицы, для толщины диэлектрика тонкопленочного конденсаторного датчика - $h=2$ мкм и $h=4$ мкм, $U_c=110$ В, $C_0=55$ нф, в диапазоне масс $m=10^{17} \div 10^{10}$ кг, $w=0.5 \div 15$ км/с в виде:

$$U_c \sim C \cdot m^\alpha \cdot W^\beta,$$

где α , β расчетные коэффициенты меняются в диапазоне масс и скоростей в связи с экспоненциальной зависимостью приведены в таблице.

	Непробив. конд. $h=2\text{мкм}$	Непробив. конд. $h=4\text{мкм}$	Пробив. конд. $h=2\text{мкм}$	Пробив. конд. $h=4\text{мкм}$
α	0.3 ± 0.2	0.5 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.55 ± 0.2
β	1.6 ± 0.4	1.7 ± 0.4	1.2 ± 0.3	1.4 ± 0.3

Для подтверждения полученных результатов проведены экспериментальные исследования изменения проводимости ряда пленок при высокоскоростном взаимодействии с ними пылевых частиц. В качестве экспериментального стенда для создания потоков высокоскоростных пылевых частиц использовались электростатические ускорители КТ-500 и ЭГ-8 (НИИЯФ МГУ, г. Москва) с ускоряющими напряжениями 500 КВ и 1.6 МВ соответственно. В качестве пылевых частиц использовались порошки Al ($1+4\text{мкм}$), Fe ($1+4\text{мкм}$), W (5мкм). Экспериментальный стенд состоял из инжектора (источника) пылевых частиц, электростатического ускорителя, системы сепарации и регистрации параметров пылевых частиц, исследуемого преобразователя и его системы регистрации.

Для моделирования ударного сжатия в МДМ-структуре (исследования изменения проводимости в пробиваемом и не пробиваемом тонкопленочном конденсаторе, вызванного ударным сжатием и распространением ударных волн в диэлектрике конденсатора) использовались ускоренные до скоростей $W=0.3-4.5$ км/с, частицы Al с характерным радиусом $r_x=1+4$ мкм. В этом случае в результате удара происходила очень слабая ионизация вещества частицы и мишени, обусловленная в основном зарядом пылевой частицы, и с помощью приемников ионов не удавалось зафиксировать наличие разлета ионов плазмы, вследствие чего увеличением проводимости, за счет проводимости плазмы, мы пренебрегали. Скорость частицы и ее характерный размер рассчитывались согласно методики описанной в [5].

В качестве объекта исследования использовались тонкопленочные МДМ-структуры с диэлектриком $h=2$ мкм и $h=4$ мкм из полистирола, с верхними и нижними обкладками, выполненными из напыленного слоя Al , толщиной $l=(3-5) \cdot 10^{-8}$ м. При проведении практических расчетов для

осуществления деления на пробиваемые и непробиваемые случаи использовалось эмпирическое уравнение расчета толщины пробиваемого конденсаторного датчика в зависимости от параметров пылевой частицы, выведенное на основе экспериментальных данных в [6]. В связи с малой толщиной обкладок конденсатора ($200 \div 500 \text{ \AA}$) их участием в процессе пренебрегали.

В процессе эксперимента устанавливались напряжения $U_c = 110 \text{ В}$ и 200 В для конденсаторных датчиков с толщиной диэлектрика $h = 2 \text{ мкм}$ и 4 мкм соответственно, с целью создания одинаковой напряженности поля в диэлектрике.

При исследовании взаимодействия высокоскоростной частицы с активной МДМ-структурой получены экспериментальные зависимости импульса напряжения от массы и скорости для ударно-сжатого механически пробиваемого и непробиваемого преобразователя выполненного на основе тонкопленочного конденсатора с толщиной диэлектрика $h = 2 \text{ мкм}$ и $h = 4 \text{ мкм}$. Полученные зависимости описываются характеристическим уравнением вида:

$$U_c = C \cdot m^\alpha \cdot W^\beta,$$

где α, β для диапазона масс и скоростей $m = 10^{-10} \div 10^{-12} \text{ г}$, $W = 0.5 \div 5 \text{ км/с}$ $\alpha = 0.28 \pm 0.1$, $\beta = 1.8 \pm 0.1$ (для $h = 2 \text{ мкм}$) и $\alpha = 0.65 \pm 0.1$, $\beta = 1.56 \pm 0.1$ (для $h = 4 \text{ мкм}$) – непробиваемый случай,

$\alpha = 0.25 \pm 0.1$, $\beta = 0.92 \pm 0.1$ (для $h = 2 \text{ мкм}$) и $\alpha = 0.65 \pm 0.1$, $\beta = 1.31 \pm 0.1$ (для $h = 4 \text{ мкм}$) – пробиваемый случай.

Для выявления раздельного влияния скорости и массы пылевой частицы проводилась нормировка сигнала с датчика по массе и по скорости. Полученные зависимости вида $U/m = f(W)$ и $U/W = f(m)$ приведены на рис. 1. и рис. 2. При анализе расположения аппроксимирующих прямых для зависимости амплитуды от скорости можно отметить одинаковый порядок степени наклона прямых для пробиваемого и непробиваемого случаев, что говорит об одинаковом механизме образования проводимости – за счет ударного сжатия и разогрева диэлектрика.

Для оценки диапазона возможных регистрируемых масс и скоростей пылевых частиц с помощью эффекта ударного сжатия проведены расчеты энергии для пылевых частиц, вызывающих ударное сжатие в конденсаторном датчике с толщиной диэлектрика $h = 2 \text{ мкм}$ и $h = 4 \text{ мкм}$. Полученные зависимости приведены на рис. 3.

Все полученные зависимости в пределах 20% совпадают с теоретическими зависимостями для указанных диапазонов масс и скоростей, что является вполне удовлетворительным результатом в пределах точности эксперимента. Полученные результаты и их интерпретация в настоящий момент времени подвергаются дополнительному исследованию.

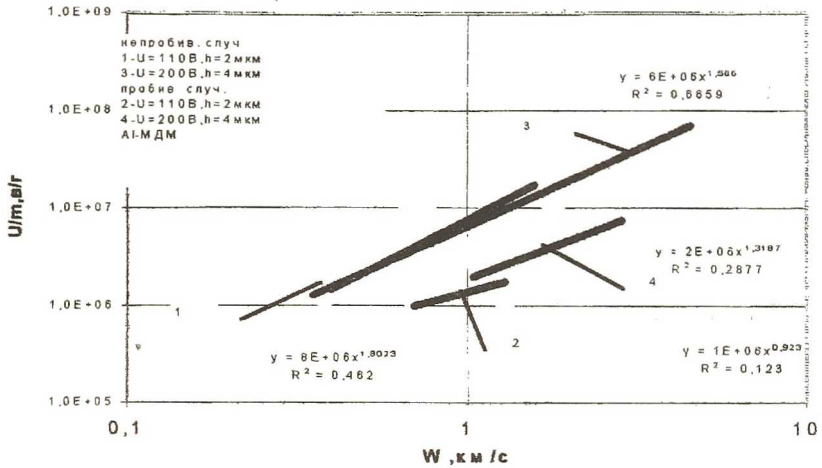


Рис.1. Зависимость амплитуды напряжения с ударносжатого конденсатора от скорости пылевой частицы.

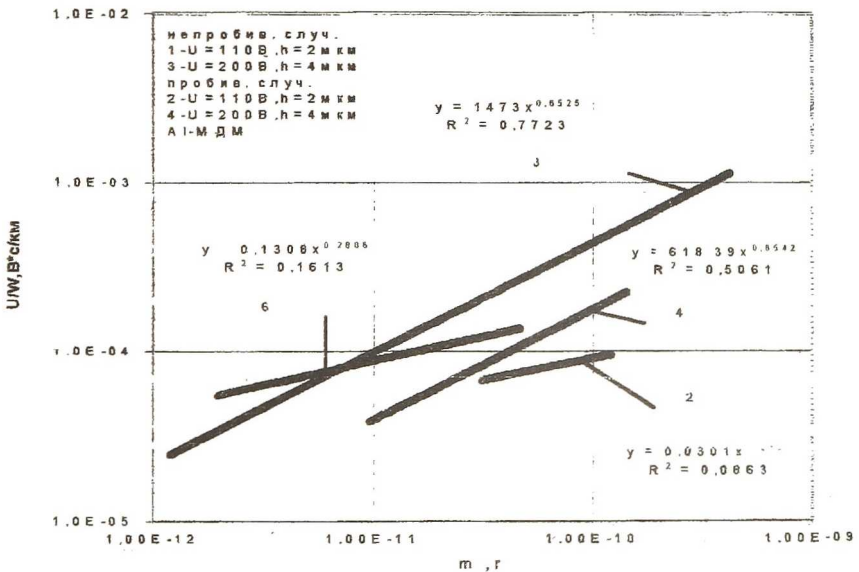


Рис.2. Зависимость амплитуды с ударносжатого конденсатора от массы пылевой частицы.

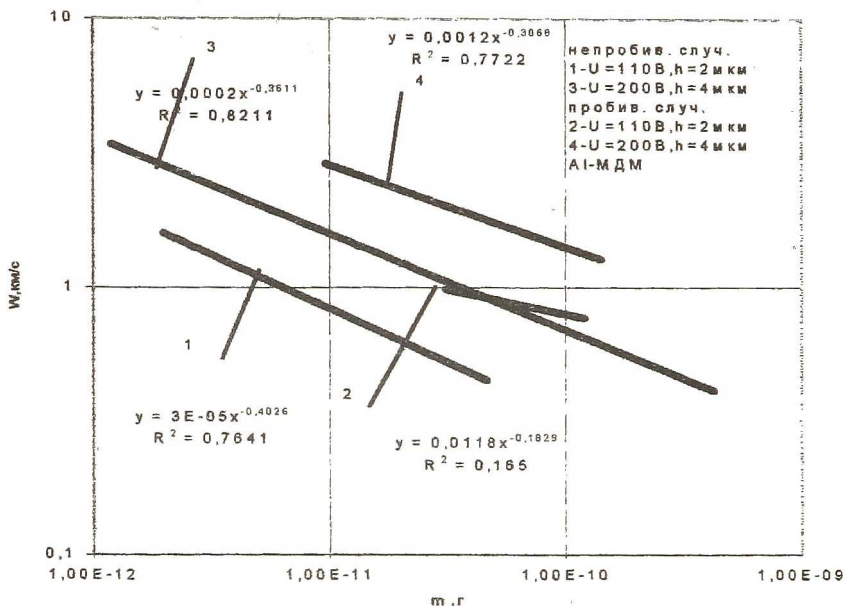


Рис.3. Зависимость скорости частицы, вызывающей ударное сжатие М Д М -структуры, для различных масс пылевых частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семкин Н.Д. Анализ методов регистрации высокоскоростных пылевых частиц и их структурный анализ. КуАИ.- Куйбышев, 1987.-37с.- Деп. в ВИНТИ, №566-В87.
2. Семкин Н.Д. Исследование характеристик конденсаторного датчика для регистрации твердых частиц с помощью импульсного лазера. Известия вузов СССР - Приборостроение, т. XXIX, №8, 1986, с. 60 - 64.
3. Воронов К.Е., Семкин Н.Д., Кондрашов В.Н. Исследование ионизационно-конденсаторного преобразователя пылевых частиц получаемых с помощью импульсного лазера.//Препринт №0040-А1998. ЦНИИ Атом-информ. - Москва. - 1998.
4. Сёмкин Н.Д., Воронов К.Е. Проводимость ударно сжатых МДМ структур на основе полиметилметакрилата.//Журнал технической физики -1998. - № 8, т.68. - С. 63-66.
5. Получение контролируемых потоков твердых микрочастиц на электростатическом ускорителе НИИЯФ МГУ./ А.А. Бедняков, О.Б. Дзагуров, В.В. Криволап, В.С. Куликаускас//Препринт НИИЯФ МГУ 1997,- №11/462,-МГУ, -МОСКВА,-1997,с.23.
6. 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.