

Н. Д. Семкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Теоретическое исследование процесса образования вторичных заряженных частиц при высокоскоростном ударе представляет собой сложную проблему в связи с тем, что к настоящему времени не представляется возможным описание поведения вещества от сверхплотного высокотемпературного состояния до газообразного с малой плотностью.

При низких скоростях ($W < 10 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$) в момент удара в веществе частицы и мишени распространяются ударные волны со следующими параметрами: давление, плотность, температура во фронте ударной волны; скорость фронта ударной волны; массовая скорость за фронтом ударной волны; удельная внутренняя энергия вещества во фронте ударной волны.

Для определения начальных параметров ударной волны записывается система уравнений, решение которой возможно лишь численными методами [1].

Расчеты температур T_S на свободной поверхности при давлении $P = 0$ в зависимости от скорости удара выполнены для трех различных мишеней: алюминия, железа и вольфрама. В качестве частицы были выбраны следующие материалы: алюминий, железо, ниобий, никель, тантал, вольфрам. Расчеты показывают, что температуры мишени и частицы в указанном диапазоне скоростей достигают нескольких тысяч градусов. Процесс образования ионов при таких температурах может быть связан с явлением поверхностной ионизации примесей щелочных металлов с низким потенциалом ионизации, содержащихся в материалах мишени и частицы [2].

Обработка табличных данных расчета позволяет аппроксимировать зависимость температуры мишени от параметров ударника в следующем виде

$$T_S = A W^{\mu}, \quad (\mu \approx 2), \quad (I)$$

где A, μ - параметры аппроксимации, зависящие от плотности мишени, ударника и их структурных свойств.

Основными параметрами, характеризующими явление поверхностной ионизации, является степень ионизации $\alpha = \frac{N_+}{N_0}$ и коэффициент ио-

низации $\beta = N_+/N$, где N_+ - количество ионов, покидающих единицу поверхности нагретого металла в единицу времени; N_0 - число нейтральных частиц; N - суммарное число исходных атомов.

Степень ионизации α определяется формулой Саха-Дэнгюра. Площадка на мишени, с которой эмитируются ионы, приблизительно равна характерной площади частицы S , которую можно выразить через характерный размер R как $S \approx R^2$.

Объем V , из которого могут диффундировать примесные атомы равен $V = R^2 \langle x \rangle$, где $\langle x \rangle$ определяется известным соотношением из теории диффузии

$$\langle x \rangle = \sqrt{2D(T)t}, \quad (2)$$

где D - коэффициент диффузии ($D \approx 5 \cdot 10^{-5} \exp \frac{-5000}{T K}$);

t - время охлаждения вещества.

При $T = 1000$ К, $t = 10^{-7}$ с, $\langle x \rangle = 26 \text{ \AA}$.

При $T = 3000$ К, $t = 10^{-7}$ с, $\langle x \rangle = 100 \text{ \AA}$.

Таким образом, $\nu = n_{np} R^2 \langle x \rangle$, где n_{np} - концентрация примесей. Число положительных ионов ν_+ выражается через коэффициент ионизации как

$$\nu_+ = \nu \beta = \nu \frac{\alpha}{1 + \alpha}. \quad (3)$$

Отсюда остаточный заряд $Q = \nu_+ e$, т.е. заряд, который образуется при ударе, можно выразить через параметры ударника

$$Q = 5 \cdot 10^{-14} R^2 n_{np} \frac{\exp((\Phi - J - 2500^\circ \text{C})/T)}{2 + \exp((\Phi - J)/T)}, \quad (4)$$

где R - измеряется в мкм; Φ, J, T - в градусах; $n_{np} = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ заряд - в кулонах.

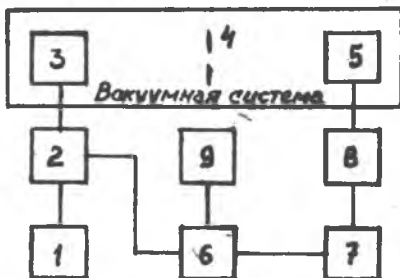
Анализ (4) показывает, что величина заряда зависит от соотношения работы выхода Φ и потенциала J , причем

$$Q|_{\Phi > J} \gg Q|_{\Phi < J}. \quad (5)$$

Таким образом, доминирующую роль в образовании заряда будут играть элементы с более низким потенциалом ионизации. Выход ионов будет максимален при наибольшей концентрации примесей с низким потенциалом ионизации.

Экспериментальное исследование зависимостей выходных характеристик заряда, времени нарастания переднего фронта ионного импульса преобразователя плоского типа [3] от параметров ударника проводилось с помощью электроплазменного ускорителя [4].

Ускорение частиц происходит следующим образом. Энергия накопительных конденсаторов I (рис.1) подводится к медным стержням, соединенным между собой проволочками и фольгой с нанесенными на ней частицами. В момент подачи импульса с высоковольтного генератора импульсного напряжения 6 разрядник 2 пробивается, и энергия конденсаторов превращает проволочки, фольгу в



Р и с. 1. Блок-схема экспериментальной установки

стусток плазмы, имеющую скорость $60 - 80 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$. Для синхронизации сверхскоростного фоторегистратора 9 (СФР) и запуска развертки двухканального запоминающего осциллографа 8 служит сигнал с высоковольтного генератора импульсного напряжения. С целью задержки момента запуска развертки осциллографа относительно момента поджига разрядника на время пролета от патрона 3 до преобразователя 5 использовалась линия задержки 7. Измерения скоростей частиц проводились контактным способом. На мишень, в качестве которой использовалась фольга толщиной 10-15 мкм, направлялся источник света. При пробое частицей фольги через образовавшееся отверстие свет попадал в СФР, включение которого совпадало с моментом разряда накопительных конденсаторов. Измерения проводились на фото пленке фиксацией начала процесса и появления светового "следа" с учетом постоянной скорости регистрации и расстояния пролета частиц до мишени.

В экспериментах использовались частицы из вольфрама, стекла, железа с характерным размером 40-60 мкм и 60-80 мкм. Скорости частиц находились в диапазоне $1-7 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$. Сигнал с преобразователя позволяет экспериментально определить коэффициент пропорциональности между скоростью частицы и наиболее вероятной скоростью разлета вторичных заряженных частиц (ионов) $k = U_n / W$,

(6)

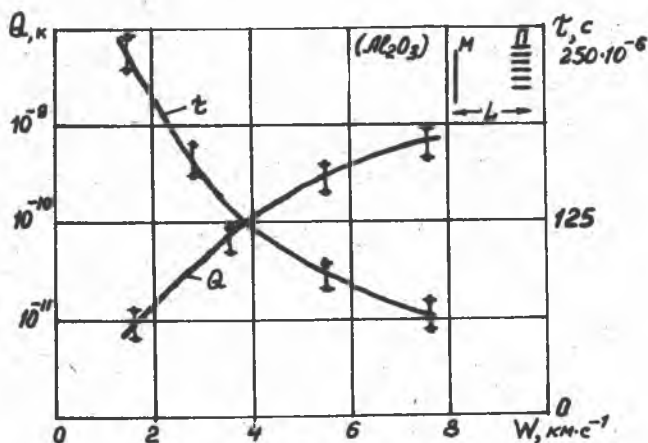
где U_n, W - соответственно наиболее вероятная скорость ионов и скорость частицы;

$$U_H = L/t; \quad (7)$$

где L - расстояние между мишенью и приемником (коллектором и нсв) преобразователя;

t - временной интервал между импульсом, снимаемым с сети и максимумом импульса с приемника.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость амплитуды (заряда) и длительности ионного импульса с преобразователя в диапазоне скоростей 1-7 км·с⁻¹ для стеклянных частиц с начальным диаметром ϕ 60-80 мкм и ϕ 40-60 мкм. Результаты эксперимента удовлетворительно совпадают с выражениями (4) и (6), (7), причём величина t в пределах погрешности эксперимента не зависит массы частиц, что совпадает с результатами экспериментов, выполненных авторами [5].



Р и с. 2. Экспериментальные зависимости заряда и времени нарастания переднего фронта ионного импульса от скорости ударника при $R = 40$ мкм, мишень $W, L = 10$ см

Результаты обработки экспериментальной зависимости $Q = f(W)$ при $m = \text{const}$ показывают, что при аппроксимации ее степенной функцией вида $Q = cW^\beta$ коэффициент $\beta \approx 2,7$ в диапазоне скоростей 1,5-7 км·с⁻¹.

Таким образом, эксперименты показывают на удовлетворительное совпадение рассмотренной модели с аналитическим выражением.

Литература

1. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Чельшев В.П., Шахтер Б.И. Физика взрыва. - М.: Наука, 1975.
2. Drapatz S, Michel K.W. Theory of shock-wave ionization upon High-velocity impact of Micrometeorites. *Z. Naturforsch*, 1974, 29a, p. 870.
3. Семкин Н.Д., Коныхов Н.Е. К расчету импульса тока в плоской конструкции преобразователя для регистрации высокоскоростных частиц. - Изв. вузов СССР. Сер. Приборостроение, 1982, т. XXV, № 8, с. 24.
4. Исследование на установке "Конус-2". - В кн.: Электрофизические процессы при импульсном разряде. - Чебоксары: Вып. I, 1972, с. 64.
5. Dietzel H, Eichhorn G, Fechtig H, Grün E, Hoffman H-J, Kissel J. The Neos 2 and Helios micrometeoroid experiments. *J. Phys. Sci. Instrum.* 1973, 6, 3, p. 209-217.

УДК 621.383

А.О.Н о в и к о в

КОДИРУЮЩИЙ ФОТОПРИЕМНИК ДЛЯ ДВУХОТСЧЕТНОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В КОД

В настоящее время широкое развитие получили системы автоматического управления и контроля, в состав которых входит ЦВМ, в связи с чем разработка прецизионных устройств преобразования аналоговой информации в цифровой код приобрела особую актуальность. Одним из самых распространенных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) являются преобразователи линейного или углового перемещения в код, причем, наиболее перспективными с точки зрения позиционности, разрешающей способности, возможности реализации функциональной зависимости считаются фотоэлектрические АЦП [1, 2]. Совмещение кодирующего и фотоприемного элементов в один функциональный узел существенно сокращает габаритно-весовые показатели преобра-