

величины  $W(W=W_2)$  и  $T_3(T_3=T_2)$ . Если  $W_2 < W_p$ , то происходит наполнение диверторного слоя и устанавливается новое равновесие, при этом поток нейтралов  $\Gamma_N$  монотонно увеличивается. Однако, если  $W=W_3 > W_p$ , то по мере увеличения  $N$  происходит „запирание“ нейтралов в диверторе, и поток  $\Gamma_N$  значительно уменьшается. Это может приводить к улучшению удержания плазмы и уменьшению  $T_3(T_3=T_3 < T_2)$ , в результате чего баланс частиц (1) может установиться на более низком уровне потоков  $\Gamma_N = T_3 = T_3 < T_2$ .

## Л и т е р а т у р а

- [1] W a g n e r F., K e i l h a c k e r M. et al. - J. Nucl. Mater., 1984, v. 121, p. 103-113.
- [2] W a g a m i M. et al. ibid., p. 114.
- [3] K a y e S.M. et al. ibid., p. 115-125.
- [4] F u r t h H.P. Proc 12 th Eur. Conf. on Contr. Eus. and Plasma Phys. Budapest, 1985 - invited paper.
- [5] K r a s h e n i n n i k o v S.I., K u k u s h k i n A.S., P o z h a r o v V.A. Proc. 11<sup>th</sup> Intern. Conf. on Plasma Phys. and Contr Nucl. Fus. Res., Kyoto, 1986. Rep. IAEA-CN-47/E-III-3.
- [6] И г и т х а н о в Ю.А. и др. - Физика плазмы, 1986, т. 12, с. 3-13.
- [7] P o s t D.E. et al. - J. Nucl. Mater., 1984, v. 121, p. 171-177.
- [8] К р а ш е н н и к о в С.И., П о ж а р о в В.А. Гидродинамика нейтральной компоненты в диверторной плазме. Препринт ИАЭ-4173/7. М., 1985.

Поступило в Редакцию  
4 июня 1987 г.  
В окончательной редакции  
13 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

## ЭФФЕКТ СТАЦИОНАРНОГО СВЕЧЕНИЯ КАНАЛА ПРОВОДИМОСТИ УДАРНОСЖАТОГО ДИЭЛЕКТРИКА МДМ-СТРУКТУРЫ

Н.Д. С е м к и н, С.М. С е м е н ч у к, Г.Я. Ю с у п о в

Исследуемые МДМ-структуры находят широкое применение в фундаментальных областях астрофизики, космохимии и ряде прикладных задач [1-3].

При проведении экспериментов с использованием электростатического ускорителя нами был обнаружен режим включений в цепь постоянного напряжения МДМ-структуры, при котором возникает стационарное свечение участка органического диэлектрика, подвергнутого ударному воздействию алюминиевых частиц  $\varnothing 0.1-0.5$  мкм в диапазоне скоростей  $4-12$  км·с<sup>-1</sup> и хромовых частиц  $\varnothing 1-20$  мкм,  $V \leq 2$  км·с<sup>-1</sup>. Сопротивление канала проводимости (участка сжатого органического диэлектрика) находится в пределах  $10^5-10^6$  Ом, а ток проводимости составляет  $\sim 10^{-3}-10^{-4}$  А. Свечение является стабильным во времени, наблюдается визуально в течение нескольких часов и более, а его интенсивность линейно связана с величиной поданного на МДМ-структуру постоянного электрического поля. В процессе экспериментов было зафиксировано более 100 светящихся каналов проводимости. При отключении напряжения источника питания конденсатора свечение исчезает и возобновляется при его включении.

При увеличении напряжения  $U_c$  до 250-300 В (при толщине диэлектрика конденсатора 0.8-1 мкм) наступает пробой ударносжатого канала проводимости взрывного характера, при этом вторично-электронным множителем и фотоэлектронным множителем регистрируется резкое увеличение ионов, электронов и интенсивности света. Материал частицы, находящийся в кратере [4], испаряется, ионизируется; заряженная компонента плазменного сгустка может быть разделена во времени в соответствии с массами ионов с помощью электрического поля [1]. При сопротивлении канала проводимости менее  $10^5-10^4$  Ом происходит его пробой. При сопротивлении канала более  $5 \cdot 10^6$  Ом свечение также не возникает. При ударном воздействии частицы температура в зоне контакта нагревает верхнюю обкладку и диэлектрик конденсатора. При этом увеличивается количество свободных носителей (электроны, ионы) в области ударносжатого канала проводимости диэлектрика, а приложенная энергия электрического поля к МДМ-структуре превращает кратковременный процесс взаимодействия в стационарный режим свечения, при котором в канале проводимости выделяется энергия порядка  $10^{-2}-1$  Вт, что является достаточным, учитывая низкую теплопроводность диэлектрика и малые геометрические размеры канала, чтобы нагреть ударносжатый участок диэлектрика до температур порядка 500-900 °С.

Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1 и содержит электростатический ускоритель 1, цилиндр Фарадея 2, усилители 3, люминесцентно-конденсаторный датчик 4-8, фотоэлектронные умножители (ФЭУ) 9, 11, вторично-электронный умножитель 10, осциллографы 12, времяпролетный масс-спектрометр 13.

Люминесцентно-конденсаторный датчик состоит из конденсатора (металл - верхняя обкладка 8 толщиной 0.1 мкм, диэлектрик-полиметилметакрилат 7 толщиной 1.2-1.4 мкм, нижняя медная обкладка 6 толщиной 50 мкм), люминофора 5, стеклянной подложки 4. Люминесцентный датчик совместно с цилиндром Фарадея служит для контроля параметров частицы.

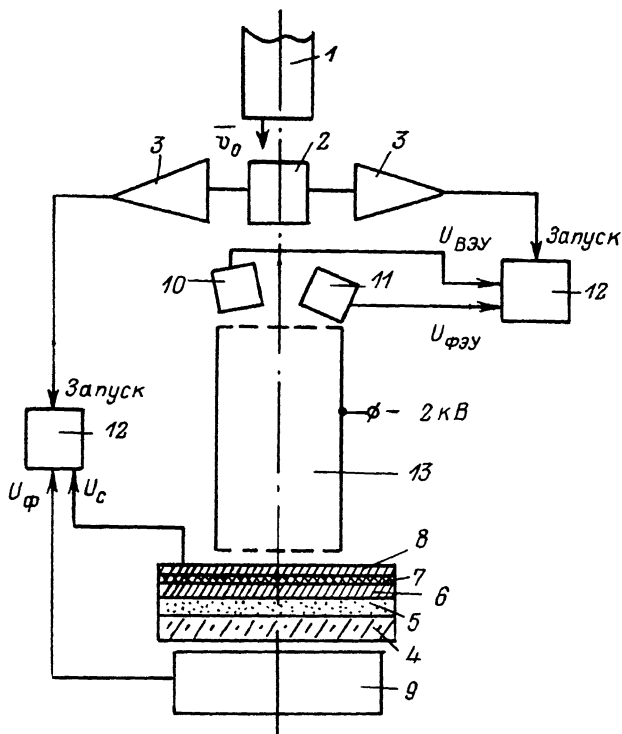


Рис. 1.

С помощью масс-спектрометра 13 получены спектры ионов с поверхности ударносжатого канала проводимости конденсатора 6, 7, 8 в диапазоне напряжения питания  $U_c = \pm 400 \text{ В}$ . Результаты обработки приведены на рис. 2 в виде зависимости заряда для каждого химического элемента ( $Al, He, Na, K, O, H$ ) от напряжения на конденсаторе. При ударе частицы происходит частичный пробой ударносжатой области диэлектрика, являющийся функцией напряжения на конденсаторе. Наблюдается интенсивный выход ионов водорода, образующихся в результате автоэлектронной эмиссии в диэлектрике. Происходит частичный разрыв химических связей в диэлектрике, в результате чего ударносжатый канал становится металлоорганическим соединением с удельным сопротивлением  $\sim 10-100 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , в котором атомы водорода замещены атомами металла (алюминия, калия, натрия).

Материал ударносжатого канала проводимости содержит больше углерода по сравнению с водородом и кислородом. Изменяя материалы частицы и верхней обкладки, можно получать различные свойства металлоорганического соединения в ударносжатой зоне.

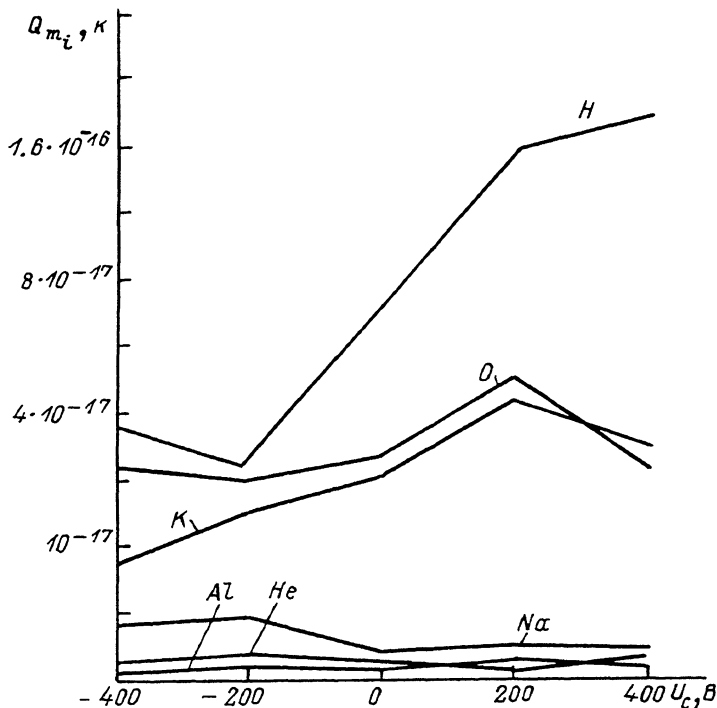


Рис. 2.

Часть выделяющейся энергии в канале проводимости идет на разогрев его и на излучение, другая часть энергии отводится на нижнюю (медную) обкладку конденсатора. В результате чего поддерживается тепловое равновесие. При напряжении  $U_c > 300$  В (толщина диэлектрика  $\sim 1$  мкм) происходит пробой. При толщине диэлектрика 2–2.5 мкм в том же диапазоне масс и скоростей частиц было обнаружено стационарное свечение канала проводимости лишь в течение 4–7 с даже при напряжении  $U_c = 400$ –450 В.

Для устойчивого свечения канала проводимости при толщине диэлектрика 2–2.5 мкм необходимо увеличивать скорость частицы. Таким образом, условием существования стационарного свечения ударноожатого участка диэлектрика является определенная энергия электрического поля и частицы, справедливая для конкретного материала и геометрии конденсатора, а также диапазона масс и скоростей частиц. Эксперименты, проведенные с конденсаторами на основе неорганических диэлектриков ( $SiO_2$ ;  $GeO$ ), не обнаружили существования режима стационарного свечения ударноожатой зоны. Конденсаторы, имеющие сопротивление менее  $10^6$  Ом, непосред-

ственно после их получения также не обнаруживают свечения. Эффект стационарного свечения ударносжатого участка диэлектрика может использоваться в датчиках для регистрации и запоминания ударных воздействий частиц (например, микрометеоритов), в области микроэлектроники, а также при исследовании твердых тел под высоким давлением.

### Л и т е р а т у р а

- [1] A u e r S., B e r g O.E. - Rev. Sci. Instrum., 1975, v. 46, N 11, p. 1531-1534,
- [2] Х е й с Б. - Приборы для научных исследований, 1975, т. 12, с. 69-79.
- [3] С е м к и н Н.Д. Изв. вузов, Приборостроение, 1986, т. XXIХ, № 8, с. 60-64.
- [4] N e n k u m G. Untersuchungen des Projectilmaterines in Microcratern. Diplomarbeit untiversität Heidelberg, 1969, English Translation, NASA, TT-F-12327.

Куйбышевский авиационный  
институт им. С.П. Королева

Поступило в Редакцию  
28 января 1987 г.

В окончательной редакции  
28 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

### ОРИЕНТАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ ПРИ МАЛЫХ УГЛАХ ВЛЕТА В КРИСТАЛЛ

А.Р. А в а к я н, Р.О. А в а к я н, А.В. А в е т и с я н,  
А.С. А р у т ю н я н, С.С. Д а н а г у л я н,  
С.П. Т а р о я н, Я н Ш и

При малых углах влета релятивистских заряженных частиц в кристалл относительно кристаллографической оси или плоскости частицы одновременно взаимодействуют с большим количеством атомов оси или плоскости (когерентное рассеяние). Такое взаимодействие можно описывать непрерывным потенциалом осей или плоскостей [1]. В то же время частицы многократно рассеиваются на тепловых колебаниях отдельных атомов (некогерентное рассеяние), что в конечном итоге приводит к увеличению среднего квадрата угла движения частиц относительно исходного направления и, соответственно, к монотонному уширению пучка по мере проникновения в кристалл. Ранее [2, 3] теоретически была показана возможность подавления некогерентного многократного рассеяния электронов при плоском каналировании и квазиканалировании в кристаллах по сравнению со случаем аморфного вещества.