

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МИКРОПРОВОДНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА С СУБНАНОСЕКУНДНЫМ ФРОНТОМ

С.В. Барухвостов, М.Б. Бочкарев, Н.Б. Волков, К.А. Нагаев,
*В.П. Тараканов, **С.И. Ткаченко, Е.А. Чингина

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: nbv@ami.uran.ru

*Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

**Московский физико-технический институт (университет), Долгопрудный

Цель предлагаемой работы - экспериментальное исследование особенностей генерации неидеальной плазмы при воздействии на микропроводники электромагнитного импульса (ЭМИ) с субнаносекундным фронтом. Генератор высоковольтных импульсов напряжения «РАДАН-220» (с волновым сопротивлением $Z_w = 50 \Omega$) разряжался на неоднородную коаксиальную линию (вакуумную камеру) длиной 15 см и диаметром 10 см. В центральную жилу линии включались медные ($d = 20 - 300 \mu\text{m}$), никелевые ($d = 25 \mu\text{m}$) и вольфрамовые ($d = 24.5 - 100 \mu\text{m}$) проволочки длиной $l = 5 - 15 \text{ mm}$. Амплитуда импульса напряжения - $U_0 = 220 \text{ kV}$; длительность фронта - $\tau_f = 200 - 500 \text{ ps}$; запасенная энергия в генераторе - $w = 1 \text{ J}$. Давление в камере - $P = 10^{-4} - 760 \text{ Torr}$. Напряжение на входе камеры измерялось с помощью емкостного делителя, помещенного в вакуумное масло. Электрический ток в конце линии измерялся с помощью шунта, имеющего сопротивление $R_s = 0.4 \Omega$ и полосу пропускания 5 GHz. Сигналы с делителя и шунта регистрировались четырехканальным цифровым осциллографом Tektronix с полосой пропускания 1 GHz. Кроме этого, производилась съемка собственного свечения канала разряда с помощью цифровых фотокамер Canon 450D и Canon 5D Mark II; его непрерывная развертка с помощью стрик-камер АГАТ «СФ-3М» и Cordin-173 и коаксиального фотоэлектронного диода (ФЭК) СПУ-22М; регистрация интегрального спектра и его непрерывная развертка с помощью спектрографа MS 257 и стрик-камеры Cordin-173.

Субнаносекундный фронт импульса напряжения, большие значения радиальной напряженности электрического поля на поверхности микропроводников ($E_r = 24 \text{ MV/cm}$ на проволочке с $d = 20 \mu\text{m}$ в разомкнутой на конце линии) и сильная неоднородность линии, обусловленная большой разницей в отношениях диаметров центральной жилы и проводника к диаметру камеры, - отличительные особенности наших экспериментов. Показано, что разрушение микропроводников ЭМИ с $\tau_f < 1 \text{ ns}$ определяется электродинамическими процессами, происходящими в их поверхностном слое и окружающем пространстве. Установлено существование интервала давления ($0.7 < P \leq 3.4 \text{ Torr}$ для медных проволочек с $d = 20 \mu\text{m}$), в котором микропроводники не разрушаются или разрушаются термомеханическими напряжениями. При $P > 3.4 \text{ Torr}$ в результате импульсного коронного разряда вокруг проволочек образуется плазменный канал, энергетический обмен с которым приводит к их разрушению. При $P \leq 0.7 \text{ Torr}$ проволочки разрушаются в результате «электродинамического взрыва» поверхностного слоя металла. Образующийся плазменный канал состоит из плазменной короны, плотного ядра - неидеальной плазмы и переходного слоя между ними, в которых наблюдаются вихревые и винтовые структуры, ярко светящиеся пятна, плазменные струи. Исследованы спектральные характеристики излучения плазменного канала. Показано, что спектр излучения в момент образования плазменной короны непрерывен. Наиболее интенсивные линии спектра меди (510.554, 515.324, 521.82) nm появляются $\sim 3 \text{ ns}$ после образования плазменной короны. По отношению интенсивностей линий спектра получена оценка температуры электронов: $T_e \sim 0.7 \text{ eV}$.

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект No. 10-08-00691-а), Президиума УрО РАН в рамках проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно учеными УрО, СО и ДВО РАН (проект No. 09-С-2-1002), и программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий и физика сильно сжатого вещества» (проект No. 09-П-2-1016).