

Исследование предпробойной стадии импульсного газового разряда в диоде с сильным перенапряжением методами лазерного зондирования

Е.В. Паркевич^{1,2}, С.И. Ткаченко², А.В. Агафонов¹, А. Р. Мингалеев¹, В.М. Романова¹, Т.А. Шелковенко¹, С.А. Пикуз¹.

¹Физический институт им. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия

²Московский физико-технический институт, 141700 Долгопрудный, Россия

Исследование импульсного разряда в различных газах и в воздухе является актуальной задачей во многих приложениях. Особую роль в данном случае занимает предпробойная стадия разряда (до образования плазменного токового канала между электродами). Данные о физической картине происходящих процессов на ранней стадии разряда, приведены в различных работах [1-3]. Недостаток информации о плазме, формирующейся на разных стадиях разряда, в первую очередь, на начальной, связан с трудностью диагностики быстропротекающих процессов с высоким пространственным (микроны) и временным (наносекунды и меньше) разрешением. Поэтому развитие диагностик в этом направлении представляется крайне важной задачей. Проблема решается посредством методов лазерного зондирования [4].

В данной работе представлены результаты предварительных исследований лазерными методами (одновременное применение многокадровой интерферометрии, теневой и шпирен-фотографирование) предпробойной стадии газового разряда в диоде с сильным перенапряжением при атмосферном давлении. Высокая напряжённость поля достигается использованием на электродах тонких одиночных металлических острий, изготавливаемых из проволочек диаметром от 5 мкм и более. Длина разрядного промежутка не превышала нескольких мм. В качестве наполнителя использовался сухой воздух. Эксперименты проводились на разработанной малогабаритной высоковольтной установке с жёсткой синхронизацией момента зондирования лазера с подаваемым импульсом напряжения на исследуемую нагрузку (точность синхронизации ~ 1 нс). В работе использовался пикосекундный Nd:YAG лазер LS-2151 (длительность импульса на полувысоте – 70 пс, энергия в импульсе до 40 мДж; две гармоники – $\lambda = 1064$ и 532 нм). Установка представляет собой генератор на отрезках кабеля, заряжаемых от регулируемого источника постоянного напряжения (до 30 кВ). Кабели подключены к пятикабельному разряднику, управляемому посредством лазерного поджига. Фронт импульса напряжения с амплитудой 10 кВ в режиме работы установки на несогласованную нагрузку с сопротивлением 125 Ом составлял 20 нс. Электрические сигналы с датчиков тока и напряжения с временным разрешением ~ 1 нс регистрировались цифровыми осциллографами Tektronix TDS 3054B с полосой пропускания 500 МГц. Момент прихода зондирующего лазерного луча в разрядную камеру определялся по сигналу фотодатчика с временным разрешением ~ 0.5 нс. Многокадровая система визуализации на основе трех лазерных методик (интерферометрия, теневые и шпирен-изображения), позволяет получать количественные данные о разрядной плазме в локальных областях разряда, а наличие трёх независимых оптических каналов разнесённых во времени - проследить динамику пробоя.

В ходе экспериментов было обнаружено, что начальная стадия разряда сопровождается появлением плотного облака плазмы на торце острия с электронной плотностью порядка $5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. На рис.1 приведены характерные лазерные изображения возникающего на данной стадии облака плазмы и сигналы с датчиков. Определены характерные скорости расширения облака, которые составили $\sim 25 \text{ км/с}$ в продольном и $\sim 5 \text{ км/с}$ в поперечном направлениях. Данные значения практически не зависели от материала эмиттера и не менялись от выстрела к выстрелу. Показано, что образование анодного облака плазмы в используемой геометрии диода начинается лишь через $\sim 1 \text{ нс}$ после появления катодного облака и его небольшом продвижении к аноду.

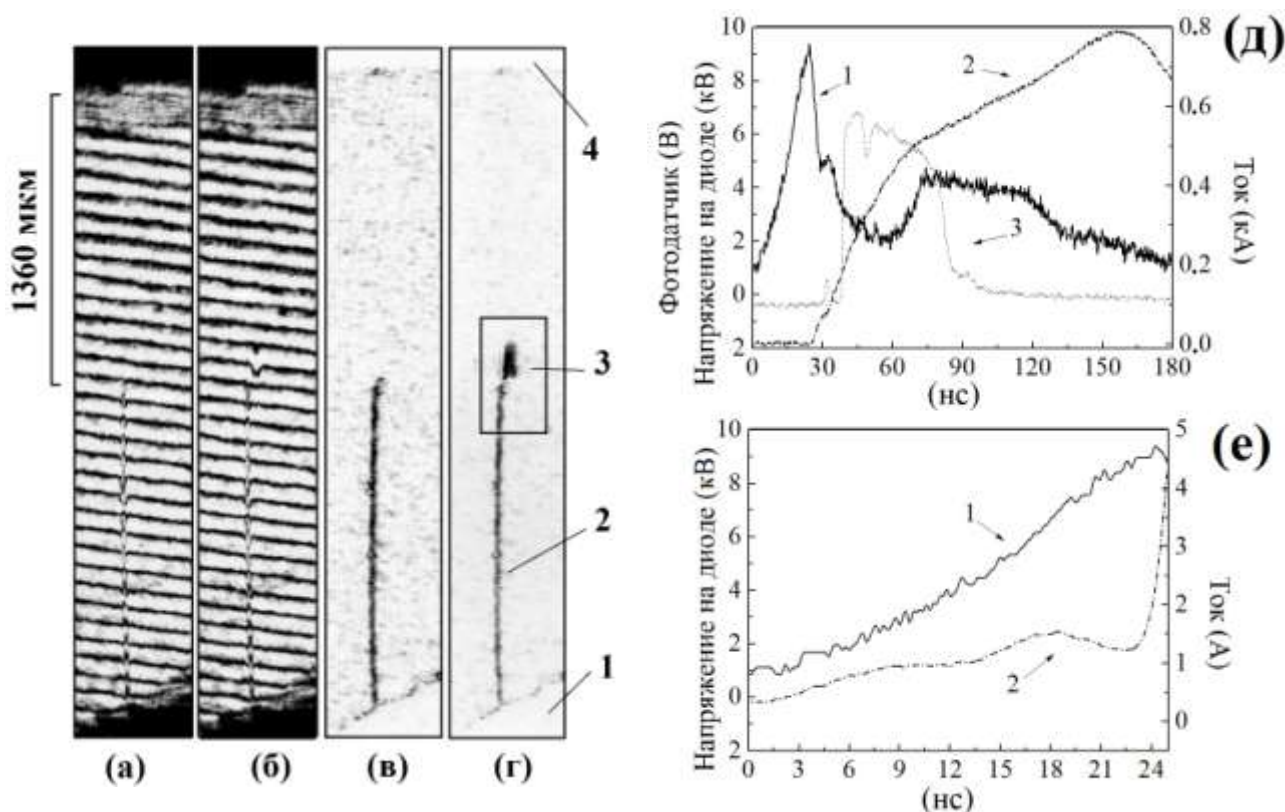


Рис.1. (а), (б) – интерферограммы и (в), (г) – шлирен-изображения, полученные до выстрела (а, в) и через 25 нс после подачи импульса напряжения на диод (б, г). Цифрами обозначены следующие объекты: 1 – катод, 2 – дифракционное изображение проволоочки, 3 – катодное облако плазмы, 4 – анод; (д), (е) – сигналы с датчиков за 180 нс и в увеличенном масштабе первые 25 нс: (1), (2) – осциллограммы напряжения и тока, соответственно; (3) – сигнал с фотодатчика.

Литература

- [1] Месяц Г. А., Яландин М. И., Реутова А. Г., Шарыпов К. А., Шпак В. Г., Шунайлов С. А. //Физика плазмы, 2012, т.38, №1, с.34-51.
- [2] Бабич Л.П., Лойко Т.В., Цукерман В.А. //Успехи физических наук, 1990 г., т.160. в.7.
- [3] Василяк Л.М., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Филюгин И.В. //Успехи физических наук, 1994 г, т.164, в.3.
- [4] Зайдель А.Н., Островская Г.В. Лазерные методы исследования плазмы, Наука: Ленинград, 1977. 219 С.