

Письма в ЖЭТФ, том 19, вып. 8, стр. 516 – 520 *20 апреля 1974 г.*

**ГЕНЕРАЦИЯ И ФОКУСИРОВКА
СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
В НИЗКОИМПЕДАНСНОМ ДИОДЕ**

В.И. Ликсонов, Ю.Л. Сидоров, В.П. Смирнов

Приведены результаты по генерации электронного пучка в низкоимпедансном диоде. Обычный для подобных диодов катод отсутствует. Конструкция катода усиливает влияние зарядного предимпульса на формирование плазменного токонесущего канала между электродами ускорительного промежутка. Получена плотность тока пучка $> 5 \cdot 10^6$ а/см² при потоке мощности $\gtrsim 10^{12}$ вт/см². Амплитуда тока предимпульсного разряда составляет $\lesssim 30$ ка.

Для реализации предложений по импульсному термоядерному синтезу [1, 2] необходимо сфокусировать пучок электронов с плотностью тока $10^8 \div 10^{10} \text{ а/см}^2$. В работах [3, 4] сообщается о фокусировке электронного пучка в низкоимпедансном диоде до плотности тока $5 \cdot 10^6 \text{ а/см}^2$. Отличительная особенность выполненных экспериментов заключается в комбинации обычного для низкоимпедансных диодов катода с резистивным плазменным каналом, заранее приготовленным с помощью лазера [4], или возникающим в результате взрыва тонкой вольфрамовой проволочки, натянутой между катодом и анодом [3].

Ниже приведены результаты по генерации электронного пучка в низкоимпедансном диоде без обычного для подобных диодов катода с холодной эмиссией. Конструкция катода усиливает влияние зарядного, 120 нсек , $\approx 70 \text{ кв}$ предимпульса на формирование плазменного токоне-сущего канала между электродами ускорительного промежутка.

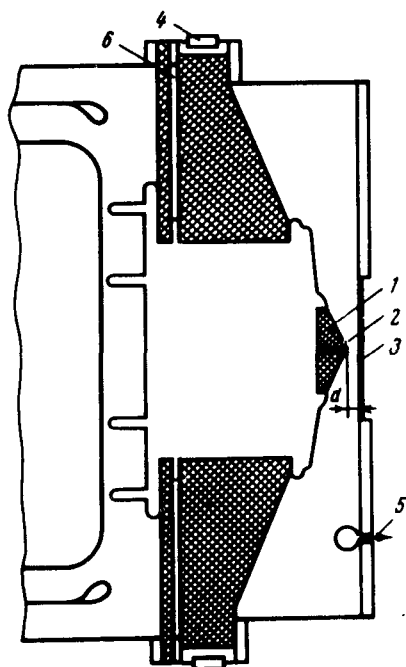


Рис. 1. Схема диода ускорителя "Тритон": 1 - полиэтиленовый конус, 2 - никелевая трубка, 3 - анодная пластина, 4 - шунт диода, 5 - магнитный зонд, 6 - омический делитель

Эксперименты выполнены на ускорителе "Тритон" [5]. Высоковольтный генератор ускорителя построен на основе водяной формирующей линии Блюмлейна с выходным сопротивлением $2,3 \text{ ом}$. Амплитуда напряжения зарядки формирующей линии составляет 500 кв , а расчетная длительность импульса равна 30 нсек .

Схема диодной части ускорителя приведены на рис. 1. Для создания плазменного канала используется полиэтиленовый конус 1, имеющий сквозное отверстие. Высота конуса 16 мм , диаметр основания 62 мм , диаметр отверстия 1 мм . В глубине конуса по отверстию расположена никелевая трубка 2 с толщиной стенки 50 мк . Расстояние d между вершиной конуса и анодной пластиной 3 обычно превышало 8 мм . Эксперименты выполнены при давлении в ускорительной трубке $3 \div 7 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт.ст.}$

Ток диода регистрировался шунтом 4 и магнитным зондом 5. Контроль за напряжением осуществлялся с помощью омического делителя 6. Высоковольт-

ное плечо делителя образовано раствором медного купороса. Для регистрации жесткого тормозного излучения использовался пластический сцинтиллятор в комбинации с фотоэлементом ФЭК-11. Временное разрешение рентгеновского датчика не хуже 5 *нсек*. Диаметр электронного пучка определялся по следам эрозии на анодной пластине и по интегральным снимкам, полученным с помощью камеры-обскуры в рентгеновском излучении. Диаметр отверстия камеры-обскуры 0,3 *мм*, фокусное расстояние 180 *мм*.

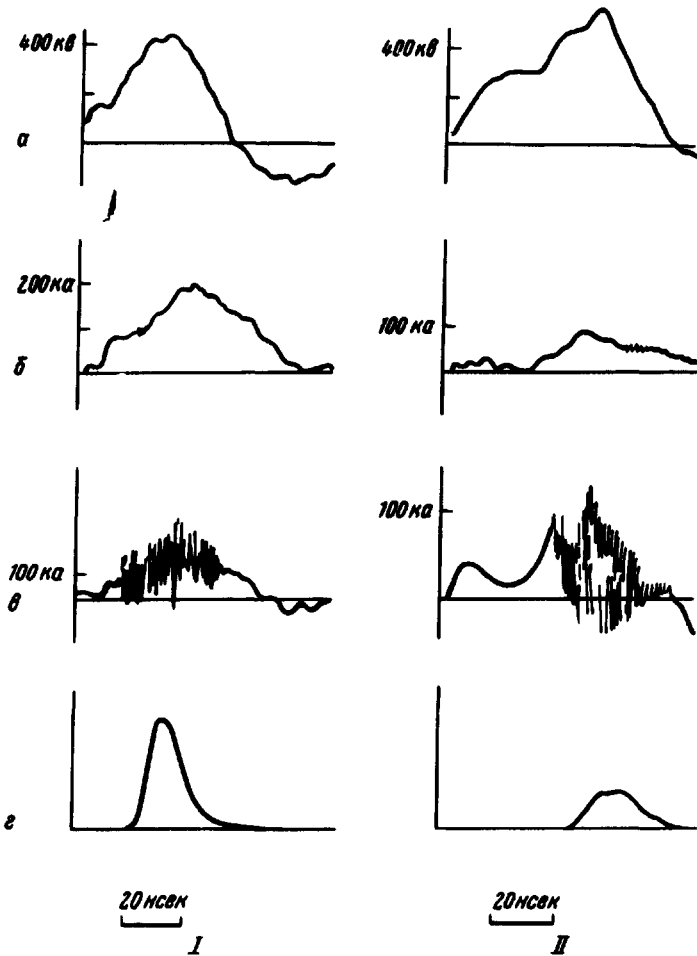


Рис. 2. Влияние длины разрядного промежутка d на импеданс диода: $d = 9,5$ *мм* – I, $d = 11$ *мм* – II; a – осциллограммы напряжения, b – осциллограммы тока диода, $в$ – сигналы магнитного зонда, $г$ – сигналы с рентгеновского датчика

Рентгеновское изображение электронного пучка фотографировалось за анодной пластиной из нержавеющей стали толщиной 1 *мм*. Диаметр пучка составлял $\approx 1,5$ *мм*. Размеры кратера, образованного в результате взаимодействия пучка электронов с анодной пластиной, примерно со-

ответствуют диаметру изображения в рентгеновском излучении. С обратной стороны анодной пластины наблюдались отколы, что свидетельствует о интенсивном испарении металла [6].

Увеличение плотности тока пучка приводит к локальному перегреву поверхности и испарению материала анодной пластины, так как охлаждение за счет теплопроводности пропорционально диаметру пучка и при наблюдаемой в наших опытах фокусировке не играет заметной роли. После каждого выстрела в анодной пластине из нержавеющей стали толщиной 1 мм возникало сквозное отверстие, по периферии которого наблюдались отколы. Для оценки энергии пучка калориметрическое тело из алюминия располагалось на расстоянии 3 мм от анодной фольги из титана толщиной 50 мк. Чувствительная термопара не зарегистрировала существенного увеличения температуры, при этом потеря массы вещества за один выстрел составила 0,1 г. Для разрушений на поверхности алюминия характерно отсутствие ореола из расплавленного металла. Глубина кратера составила 1,4 мм, что в несколько раз превышает максимальную длину пробега электронов. Учитывая результаты работы [7], можно предположить, что потеря массы калориметрическим телом в основном связана с испарением вещества. В этом случае оценка дает величину энергии пучка $\approx 10^3$ Дж.

Режим работы диода характеризуется большой величиной предимпульсного тока. Амплитуда предимпульсного тока в опытах составляла $\lesssim 30$ кА. Наличие сквозного отверстия в диэлектрическом катоде определяет развитие и локализацию плазменного канала в процессе предимпульсного разряда. Однако, импеданс диода определялся расстоянием d между вершиной конуса и анодной пластиной. На рис. 2 приведены осциллограммы для $d = 9,5$ мм, рис. 2(I), и для $d = 11$ мм, рис. 2(II). Увеличение зазора на 1,5 мм привело к возрастанию импеданса в максимуме тока от 1,9 до 6 Ом. В осциллограммах напряжения, рис. 2, а индуктивная составляющая не вычиталась. Из результатов опытов с диодом, закороченным проводником диаметром 4 мм, следует, что конструктивная индуктивность не превышала $4 \cdot 10^{-8}$ Гн. На рис. 2, б приведены осциллограммы тока диода.

На сигналах магнитного зонда, рис. 2, в наблюдаются высокочастотные осцилляции, причем, величина критического тока, соответствующая началу осцилляций, во всех опытах оставалась примерно постоянной, $60 + 70$ кА. Следует отметить корреляцию высокочастотных осцилляций с сигналами жесткого рентгеновского излучения, рис. 2, г. Кинетическая энергия электронов пучка, как следует из оценок жесткости рентгеновского излучения по методу фильтров, не превышает приложенного напряжения, а окончание импульсов рентгеновского излучения, рис. 2, г, совпадает с падением до нуля напряжения диода.

С целью определения величины тока пучка на ускорителе "МС" [5], работающем в обычном режиме, были проведены контрольные эксперименты по измерению интенсивности рентгеновского излучения. Из результатов сопоставления следует, что величина тока пучка составляет не менее 75% от тока диода, при этом усредненная плотность тока пучка в момент максимума импульса рентгеновского излучения превышает $5 \cdot 10^6$ а/см². Таким образом, используя предимпульсный разряд

для создания плазменного канала, нам удалось получить плотность тока пучка $> 5 \cdot 10^6$ а/см² при потоке мощности $\approx 10^{12}$ вт/см².

Авторы выражают искреннюю благодарность Л.И.Рудакову за ценные обсуждения, К.И.Тараканову и А.Г.Каменскому за поддержку работы.

Поступила в редакцию
13 марта 1974 г.

Литература

- [1] Л.И.Рудаков, А.А.Самарский. Доклад представлен на 6-й Европейской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, Москва, 1973 г.
 - [2] G.Yonas, K.R.Prestwich, I.W.Poukey, J.R.Freeman, A.J.Toepfer, M.J.Clauser, E.H.Beekner. Доклад представлен на 6-й Европейской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, М., 1973 г.
 - [3] G.Yonas, K.R.Prestwich, J.W.Poukey, J.R.Freeman. Phys. Rev. Lett., 30, 164, 1973.
 - [4] P.A.Millier, I.Chang, G.W.Kuswa. Appl. Phys. Lett., 23, 423, 1973.
 - [5] Л.И.Рудаков, В.П.Смирнов, Э.З.Тарумов, С.С.Кингсел, Ю.В.Коба, В.Д.Королев, Г.П.Максимов, Ю.Л.Сидоров, А.М.Спектор, А.Д.Сухов. Доклад представлен на 6-й Европейской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, Москва, 1973 г.
 - [6] J.E.Robin. Appl. Phys. Lett., 22, 153, 1973.
 - [7] M.Farber, J.E.Robin, Srivastava, Appl. Phys., 43, 3313, 1972.
-