

PACS: 29.27.Eg

ELECTRON BEAM TRANSPORT IN DIELECTRIC TUBES**O.S. Druj, V.V. Yegorenkov, A.V. Shchagin, V.B. Yuferov***National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology»**Academichna str., 1, Kharkov, 61108, Ukraine**E-mail: eder07@rambler.ru**Received January 21, 2014*

The present paper outlines the results of experimental studying the transport process of pulse high-current beam of electrons about 200 ns in duration with energy under 200 keV through straight and bent glass tubes. A 17 degrees deviation of the electron beam going through the bent glass tube is demonstrated. Deviating the beam by non uniform electric field which forms inside the glass tube due to electric charge brought to the tube wall by beam electrons is assumed.

KEY WORDS: electron beam, dielectric tube, transport, pulse, high-current

ПРОХОДЖЕННЯ СИЛЬНОСТРУМОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА У ДИЕЛЕКТРИЧНИХ КАНАЛАХ**О.С. Друй, В.В. Єгоренков, А.В. Щагін, В.Б. Юферов***Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»**вул. Академічна, 1, 61108, м. Харків, Україна*

В роботі надані результати експериментального дослідження проходження сильнострумового імпульсного пучка електронів тривалістю близько 200 нс з енергією до 200 кеВ крізь пряму та зігнуту скляні трубки. Продемонстровано поворот пучка, що рухається в зігнутій скляній трубці, на кут близько 17 градусів. Висловлюється припущення, що відхилення пучка обумовлене неоднорідним електричним полем, яке утворюється всередині скляної трубки завдяки заряду, принесеному на стінки трубки електронами пучка.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: пучок електронів, діелектричний канал, транспортування, імпульсний, сильнострумовий

ПРОХОЖДЕНИЕ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ДИЕЛЕКТРИЧЕСКИХ КАНАЛАХ**О.С. Друй, В.В. Егоренков, А.В. Щагин, В.Б. Юферов***Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»**ул. Академическая, 1, 61108, г. Харьков, Украина*

В работе приведены результаты экспериментального исследования прохождения сильноточного импульсного пучка электронов длительностью около 200 нс и энергией до 200 кэВ через прямую и изогнутую стеклянные трубки. Продемонстрирован поворот пучка, движущегося в изогнутой стеклянной трубке, на угол около 17 градусов. Предполагается, что поворот пучка обусловлен неоднородным электрическим полем, которое создается внутри стеклянной трубки благодаря заряду, принесенному на стенки трубки электронами пучка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пучок электронов, диэлектрический канал, транспортировка, импульсный, сильноточный

Способ транспортировки пучков заряженных частиц в вакуумных каналах с диэлектрическими стенками без применения громоздких и энергоемких внешних электромагнитных устройств привлекает в последнее время значительное внимание исследователей.

В 80х годах была экспериментально показана возможность транспортировки и фокусировки импульсных сильноточных электронных пучков в вакуумированных диэлектрических каналах благодаря электризации поверхности стенок канала, росту потенциала заряженной области до напряжения поверхностного пробоя диэлектрика, создания пристеночной плазмы и нейтрализации объемного заряда проходящего электронного пучка ионами из этой плазмы[1]. Таким образом, фронтальная часть пучка обеспечивает условия прохождения ядра пучка по каналу.

В 2000х начато изучение прохождения ионов и электронов через вакуумный канал с диэлектрическими стенками при изменении угла ориентации канала[2,3]. В этих экспериментах использовались слаботочные пучки, не создающие объемного заряда в таком канале. Обнаружено, что при повороте диэлектрического канала на несколько градусов, пучок также поворачивается на этот угол, то есть возникает самоорганизованная система пучок-канал.

В работах [4,5] описывается способ изменения направления движения пучка заряженных частиц с током до 300 мкА с помощью изогнутого диэлектрического канала и приводятся экспериментальные результаты.

С целью изучения прохождения импульсного сильноточного электронного пучка в диэлектрическом канале нами были проведены эксперименты на ускорителе ДИН2-К [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ускоритель ДИН2-К состоит из генератора тока, собранного на базе конденсаторов ИКМ-50 (3 мкФ, 50 кВ), системы питания плазменных пушек на базе конденсаторов ИК-100-0.4 (0,4 мкФ, 100 кВ) и вакуумной коаксиальной линии (индуктивного накопителя), подключенной к вакуумному диоду – источнику электронного пучка.

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Генератор импульсов тока (ГИТ) через разрядник 4 соединен с катодом коаксиальной вакуумной линии 1, анодом этой линии является корпус установки. Плазменные пушки 2, расположены осесимметрично в поперечном сечении и каждая пушка запитывается от своего конденсатора через разрядник 5. Включение разрядника 4 происходит с задержкой относительно включения разрядника 5, определяемой блоком управления.

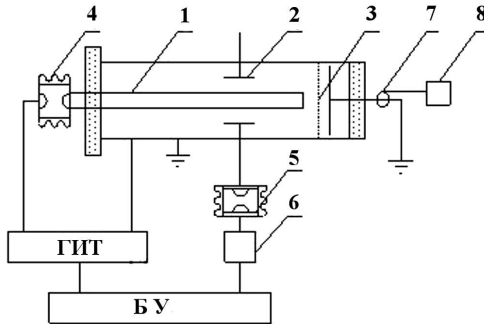


Рис. 1. Принципиальная схема установки

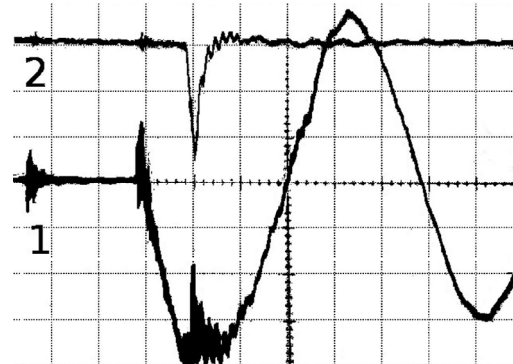


Рис. 2. Осциллограммы импульсов

После включения плазменных пушек образуется низкоомная плазменная перемычка между электродами коаксиальной линии, а после включения ГИТ энергия, запасённая в конденсаторе, передаётся в индуктивность коаксиальной линии, равную 250 нГн. При достижении максимального тока происходит размыкание плазменного ключа со скоростью роста сопротивления в цепи до 10^8 - 10^9 Ом/с [7,8]. В результате возникает импульс напряжения с амплитудой до 200 кВ при зарядном напряжении ГИТ - 25 кВ.

Анод вакуумного диода 3 - это сетка, электрически соединенная с корпусом установки. Через неё пучок электронов проходит на коллектор. Ток пучка измеряется с помощью пояса Роговского 7 осциллографом 8.

Ток пучка при импульсном напряжении до 200 кВ, составил 10 кА при длительности по полувысоте $t = 100$ нс. На рис. 2 приведены осциллограммы тока в коаксиальной линии (1) и тока электронного пучка (2). Разрешение по времени на осциллограмме – 1 мкс на клетку, по амплитуде – 0,5 В на клетку для сигнала тока в коаксиальной линии (чувствительность пояса Роговского – 35,7 мВ/кА) и 5 В на клетку для сигнала тока пучка (чувствительность пояса Роговского – 1,3 В/кА).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперименты проводились со стеклянными трубками длиной 100 мм, наружным диаметром 4,3 мм внутренним диаметром — 2,7 мм. Пучок электронов входил в канал под некоторым малым углом к его оси и на внутренней поверхности канала по ходу пучка можно выделить три области прохождения: входная область, область перехода и область транспортировки пучка по каналу (рис.4б - 4г). Схема эксперимента представлена на рис.3: а) — эксперимент с прямой трубкой, б) — эксперимент с изогнутой трубкой. 1 – анод вакуумного диода, 2 – катод, 3 – стеклянная трубка, 4 – мишень, состоящая из набора алюминиевых фольг толщиной 10 мкм. Мишень находится на расстоянии 1 мм от трубки. Модель прохождения пучка заряженных частиц по диэлектрическому каналу в таком случае изложена в [9].

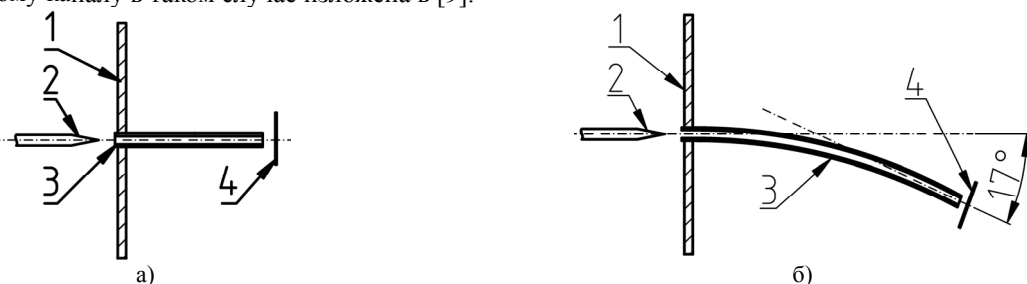


Рис. 3. Схемы эксперимента

а) - с прямой и б) - изогнутой стеклянной трубкой

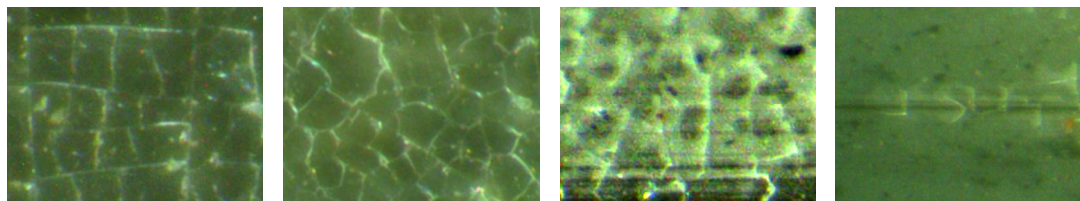
На рис. 4(а-г) показаны следы воздействия пучка на поверхность стекла.

Рис.4а — образец участка плоской стеклянной пластины, на которую нормально падал пучок электронов.

На рис.4б — автограф пучка, входящего в стеклянную трубку. Характер повреждения внутренней поверхности трубки на входном участке аналогичен тому, который наблюдался при нормальном падении пучка электронов на плоскую пластину – рис. 4а.

Далее по ходу распространения пучка на рис.4в видно уменьшение степени взаимодействия его со стенками канала и изменение характера повреждения поверхности стекла.

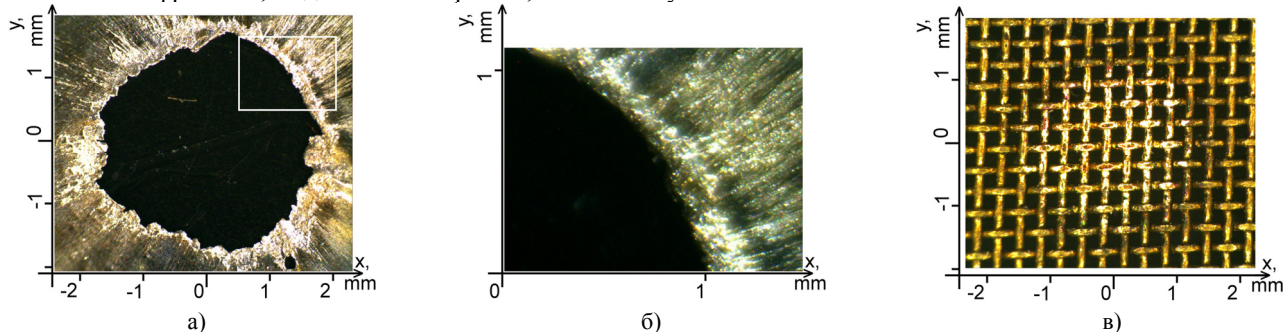
В области транспортировки пучка (рис.4г) воздействие пучка на внутреннюю поверхность канала значительно ослаблено.



а) б) в) г)
 Рис. 4. Микрофотографии поверхности стекла после воздействия на него пучка электронов

На рис. 5а показан автограф пучка, прошедшего через прямую стеклянную трубку, на первой алюминиевой фольге.

Рис.5б – фрагмент, выделенный на рис.5а, в большем увеличении.



а) б) в)
 Рис. 5. Фотографии металлических мишеней после воздействия на них пучка электронов, прошедшего через прямую трубку

На рис.5в изображен отпечаток пучка на латунной сетке (размер ячейки – 0,3мм) на выходе из канала. Видно, что пучок заполняет всё сечение канала диаметром 2,7 мм. На рис.6 показан отпечаток пучка на рентгеновской плёнке, которая размещалась на расстоянии 10 мм от края канала. Диаметр отпечатка составляет 2,3 мм.

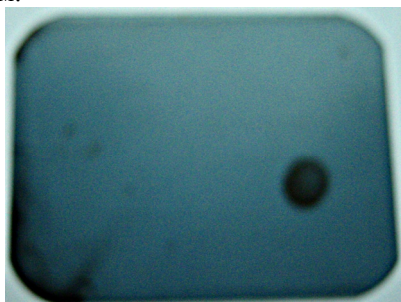


Рис. 6. Снимок излучения на выходе из прямой трубки

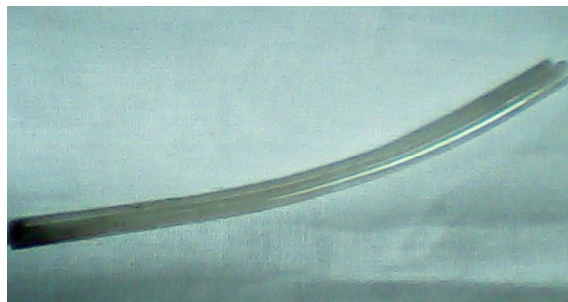


Рис. 7. Фотография изогнутой трубки, через которую проходил пучок электронов

Для проверки прохождения пучка по каналу был изготовлен изогнутый канал из стеклянной трубки (рис.7). Радиус изгиба канала равен 20 см, его длина равна 10 см, угол отклонения пучка от оси вакуумного диода на выходе из канала составил 17 градусов.

На рис.8 показан автограф пучка на третьей алюминиевой фольге на выходе изогнутого канала, а на рис.9 - отпечаток пучка на рентгеновской плёнке.

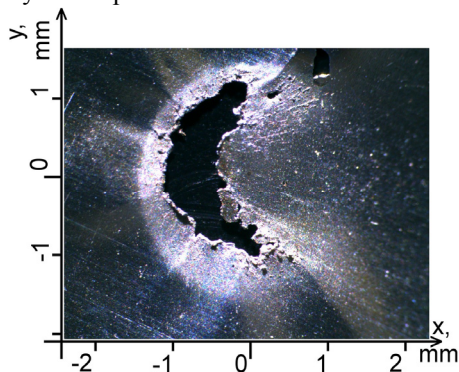


Рис. 8. Фотография металлической мишени после воздействия электронного пучка, прошедшего через изогнутую трубку



Рис. 9. Снимок излучения на выходе из изогнутой трубки

ВЫВОДЫ

Таким образом, при прохождении сильноточного пучка через стеклянный канал наблюдалось отклонение пучка каналом на 17 градусов. Данный способ изменения направления пучка позволяет во многих случаях при транспортировке пучка к приемнику излучения отказаться от громоздких внешних электромагнитных поворотных и фокусирующих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Agafonov A.V., Airapetov A.Sh., Kolomenskii A.A. i dr. Rasprostranenie i fokusirovka sil'notochnogo elektronnoho puchka v dielektricheskikh kanalakh // Fizika plazmy. – 1981. - T.7, vyp.2. - S.267-275.
2. Vokhmyanina K.A., Zhilyakov L.A., Konstantinovskii A.V. i dr. Transportirovka puchka protonov cherez kvartsevuyu trubku // Poverkhnost'. - 2005, №3. - S. 55-58.
3. Pokhil G.P., Petukhov V.P., Vokhmyanina K.A. i dr. Transportirovka i fokusirovka puchkov zaryazhennykh chastits s pomoshch'yu dielektricheskikh kanalov // Izv. RAN, seriya Fizicheskaya. - 2006,. - T.70, №6. - S.828.
4. Kumakhov M.A., Regaev R.I. Effekt mnogokratnogo beskontaktnogo povorota zaryazhennykh chastits v polom kruglom steklyannom kol'tse // ZhTF. – 2013. – T.83, vyp. 6. – S.147.
5. Kumakhov M.A. Osobennosti dvizheniya zaryazhennykh chastits v polom kruge s naelektrizovannymi stenkami // ZhTF. – 2014. - T.84, vyp. 2. - S.112.
6. Yuferov V.B., Druj O.S., Artyukh V.G., Malets V.F. Malogabaritnyi, sverkhmoshchnyi impul'snyi elektronnyi uskoritel' s SVCh-generatorom dlya oblucheniya – DIN-2K // VANT, Seriya «Fizika radiatsionnykh povrezhdenii i radiatsionnoe materialovedenie». – 1998, vyp 1(67), 2(68).
7. Bystritskii V.A., Mesyats G.A. i dr. Mikrosekundnye plazmennye preryvateli toka // Fizika elementarnykh chastits i atomnogo yadra. – 1992. – T.23, vyp.1.
8. Yegorov O.M., Yuferov V.B., Druj O.S., Yegorenkov V.V. Plazmovyi vysokovol'tnyi rozmykach strumu // Patent Ukrayiny №103238 vid 25.09.13.
9. Stolterfoht N., Hellhammer R., Bundesmann J., Fink D., Kanai Y., Hoshino M., Kambara T., Ikeda T., and Yamazaki Y. Guiding of slow Ne⁷⁺ ions through nanocapillaries in insulating polyethelene terephthalate: Incident current dependence // Phys. Rev. A. – 2007. - Vol.76. – P.022712.