

УДК 621.384.6

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В МАГНЕТРОННОЙ ПУШКЕ С ВТОРИЧНОЭМИССИОННЫМ КАТОДОМ В СИСТЕМЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

**Н.И. Айзацкий, А.Н. Довбня, В.В. Закутин, Н.Г. Решетняк,
В.П. Ромасько, И.А. Чертищев, Т.А. Коваленко, Н.А. Довбня, О.М. Утва**

ННЦ «Харьковский физико-технический институт»

ул. Академическая 1, г. Харьков, Украина, 61108

e-mail: zakutin@kipt.kharkov.ua

Поступила в редакцию 20 сентября 2010 г.

Приведены результаты по исследованию формирования электронного пучка в магнетронной пушке с магнитной системой на основе постоянных кольцевых магнитов из материала NdFeB, которая в отличие от соленоида, создающего магнитное поле, имеет меньшие размеры, вес, не имеет охлаждения и не потребляет электроэнергию. Создана малогабаритная магнетронная пушка с вторичноэмиссионным катодом и исследованы различные режимы генерации электронного пучка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнетронная пушка, электронный пучок, вторичноэмиссионный катод, постоянные кольцевые магниты, NdFeB

FORMING OF ELECTRON BEAM IN MAGNETRON GUN WITH SECONDARY-EMISSION CATHODE USING THE MAGNETIC SYSTEM BASED ON PERMANENT MAGNETS

**N.I. Ayzatskiy, A.N. Dovbnya, V.V. Zakutin, N.G. Reshetnyak, V.P. Romas'ko, I.A. Chertishcev, T.A. Kovalenko,
N.A. Dovbnya, O.M. Utva**

NSC «Kharkov Institute of Physics and Technology»

61108, Kharkov, Akademicheskaya, 1, Ukraine

The paper presents the results of investigations into the electron beam formation in the magnetron gun using the magnetic system based on the NdFeB permanent annular magnet. Unlike a magnetic solenoid designed for magnetic-field generation, the system used in the work reported has smaller size and weight, does not require cooling and power supply. A compact magnetron gun with a secondary-emission cathode has been constructed and different modes of electron beam formation were applied and investigated.

KEY WORDS: magnetron gun, electron beam, secondary-emission cathode, permanent annular magnets, NdFeB

ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В МАГНЕТРОННОЇ ГАРМАТІ З ВТОРИННОЕМИСІЙНИМ КАТОДОМ НА ОСНОВІ ПОСТІЙНИХ КІЛЬЦЕВИХ МАГНІТІВ

**М.І. Айзацький, А.М. Довбня, В.В. Закутін, М.Г. Решетняк,
В.П. Ромасько, І.О. Чертіщев, Т.О. Коваленко, М.А. Довбня, О.М. Утва**

ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

61108 вул. Академічна 1, м. Харків, Україна

Приведені результати по дослідженню формування електронного пучка в магнетронній гарматі з магнітною системою на основі постійних кільцевих магнітів з матеріалу NdFeB, яка на відміну від соленоїда, що створює магнітне поле, має менші розміри, вагу, не має охолодження і не споживає електроенергію. Створена малогабаритна магнетронна гармата з вторинноемісійним катодом і досліджені різні режими генерації електронного пучка.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: магнетрона гармата, електронний пучок, вторинноемісійний катод, постійні кільцеві магніти, NdFeB

Интерес к физике процессов со скрещенными электрическим и магнитными полями обусловлен их широким применением в вакуумной электронике больших мощностей, ускорительной технике и т.д.. Представляет интерес использование в этих областях в качестве источников электронов магнетронных пушек с вторичноэмиссионными катодами [1-3]. При проведении исследований формирования электронного пучка в таких пушках использовались относительно длинные [1,3] вторичноэмиссионные системы, а создание магнитного поля осуществлялось с помощью соленоида. Целью работы является создание и исследование формирования электронного пучка в магнетронной пушке с небольшими продольными размерами в продольном магнитном поле, создаваемом магнитной системой на основе постоянных кольцевых магнитов из материала NdFeB.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты по исследованию формирования электронного пучка проводились на установке, схема, которой приведена на рис.1. Для питания магнетронной пушки использовался импульсный генератор с полным разрядом накопительной емкости C_1 , через корректирующую цепь L_2R_2 на импульсный трансформатор РТ. Разряд емкости C_2 обеспечивал получение выброса на вершине суммарного импульса напряжения, амплитуда

выброса составляет 10...45 кВ, частота следования импульсов 3...7 Гц, длительность плоской части ~15 мкс.. Импульс напряжения такой формы подавался на катод 4, анод 5 через резистор R_5 подключен к «земле». Магнетронная пушка размещалась в вакуумной камере, в которой поддерживалось давление $\sim 10^{-6}$ Торр.

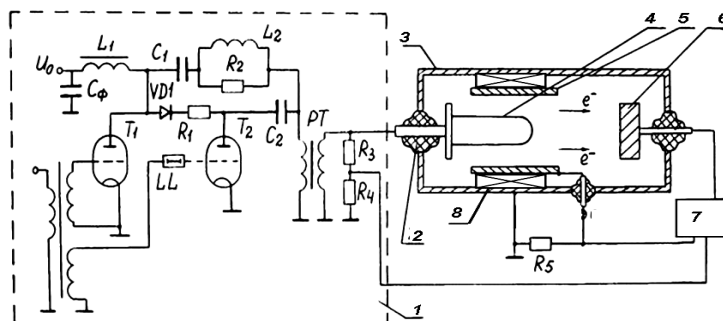


Рис.1. Электрическая схема экспериментальной установки
1 – импульсный генератор, 2 – изолятор, 3 – вакуумная камера, 4 – катод, 5 – анод, 6 – цилиндр Фарадея, 7 – компьютерная измерительная система, 8 – постоянные кольцевые магниты.

Для изучения параметров пучка использовался цилиндр Фарадея 6 с 12-канальной компьютерной измерительной системой 7. При проведении исследований использовался также цифровой осциллограф с запоминанием Tektronix TDS-2014. Поперечные размеры пучка измерялись путем получения отпечатка на мишенях из различных материалов.

Эксперименты по формированию электронного пучка (ЭП) в магнетронной пушке (МП) с вторичноэмиссионными катодами проводились в магнитном поле, создаваемом магнитной системой из кольцевых постоянных магнитов 8.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проведения экспериментов была создана система постоянных кольцевых магнитов из материала NdFeB. Внутренний диаметр постоянных магнитов 60 мм, наружный – 80 мм, толщина 10 мм. Измерялось распределение продольной (H_z) и радиальной (H_r) составляющих магнитного поля для магнитных сборок, в зависимости от количества колец в системе. Наиболее оптимальной, с точки зрения однородности поля ($\pm 5\%$) и его амплитуды (~ 750 Э), при использовании системы магнитов для формирования пучка, является магнитная система из 10-ти колец длиной 10 см. Исходя из величины магнитного поля в соленоиде [1], где было показано, что генерация пучка происходит при величине дрейфовой скорости $V_D \sim cE/H \sim 0,15c$ (c – скорость света), проведен выбор геометрии магнетронной пушки (диаметры катода и анода, длина пушки) для проведения экспериментов. Оценки показывают, что для формирования электронного пучка в магнетронной пушке диаметром анода 56 мм, диаметром катода 5 мм, при напряжении на катоде 20 кВ необходимо иметь амплитуду продольного магнитного поля $\sim 700...750$ Э. Следует отметить, что величина радиальной компоненты магнитного поля (H_r) должна быть много меньше продольной компоненты (H_z). Измерения показали, что диаметр катода должен быть не более 10 мм.

Исследование формирования пучка проводилось для двух диаметров катода: 6 мм и 10 мм, длина катодов 40 мм и 60 мм, диаметр анода 56 мм, его длина – 70 мм. На рис.2 показано распределение продольного и радиального магнитного поля на радиусе 3 мм в системе из 10 магнитных колец. Из рисунка видно, что продольная компонента магнитного поля ~ 750 Э, а радиальная компонента составляет ~ 60 Э. Проведены эксперименты по формированию пучка в магнетронной пушке с диаметром катода 6 мм с магнитной системой из 10 магнитных колец. Эксперименты показали, что при напряжении на катоде 15...25 кВ происходит устойчивая генерация электронного пучка. При напряжении на катоде $U \sim 17,5$ кВ пушка формирует трубчатый пучок с током $\sim 3,5$ А и длительностью импульса ~ 50 мкс. На рис.3 приведены типичные осциллограммы напряжения на катоде и тока электронного пучка на цилиндре Фарадея.

Были проведены эксперименты, когда на катод ставился рефлектор $\varnothing 16$ мм и шириной 5 мм и длина катода уменьшилась до 4 см. В этом случае, на вершине импульсов напряжения и тока пучка возникали колебания (рис.4). Очевидно, что при этом имеется недостаток первичных электронов из-за уменьшения поверхности катода, и, как следствие вторичных, и в электронном облаке происходят интенсивные колебания плотности пространственного заряда, для поддержания вторичноэмиссионного процесса размножения электронов, необходимого для генерации пучка. При напряжении катоде 19 кВ ток пучка составлял $\sim 2,5$ А, длительность импульса тока пучка составляла ~ 17 мкс.

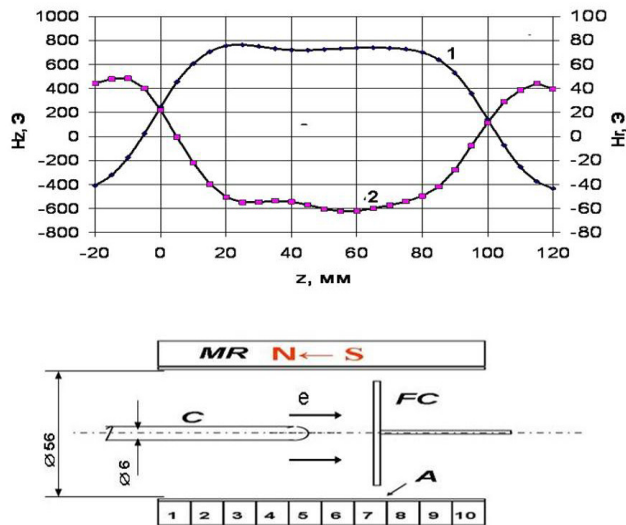


Рис.2. Распределение полей H_z (кривая 1) и H_ϕ (кривая 2) и расположение элементов магнетронной пушки. MR – постоянный магнит, C – катод, A – анод, FC – цилиндр Фарадея.

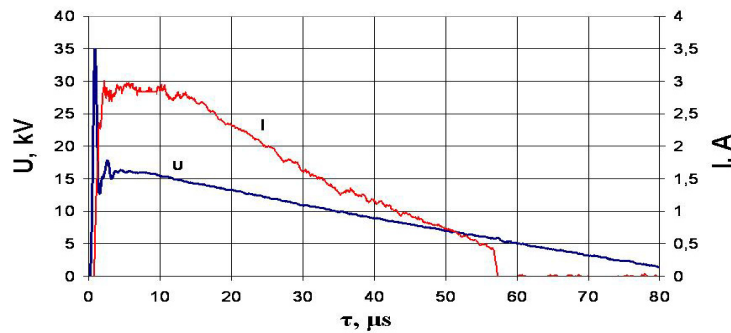


Рис.3. Осциллограммы напряжения на катоде (U) и тока пучка на цилиндр Фарадея (I).

Были проведены эксперименты также с магнетронной пушкой с диаметром катода 10 мм (длина катода ~60 мм, диаметр катода ~56 мм, длина пушки ~75 мм). В этом случае формируется устойчивый трубчатый электронный пучок с током 3,2...6 А в диапазоне напряжений 15...21 кВ. При измерении размеров электронного пучка на алюминиевой мишени, расположенной в области цилиндра Фарадея, получено, что внутренний диаметр пучка ~10 мм, а наружный составляет ~12 мм.

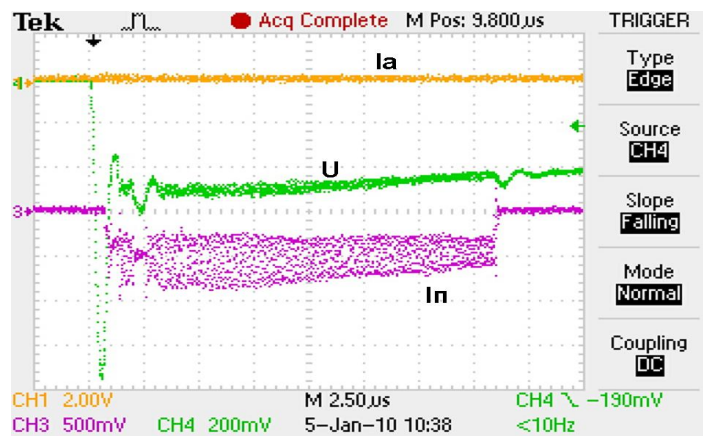


Рис.4. Осциллограммы напряжения на катоде (U) и токов на цилиндр Фарадея (I_ϕ) и анод (I_a) при наличии рефлектора.

На рис.5 показана зависимость тока пучка от напряжения на катоде, при этом магнитное поле является оптимальным, т.е. амплитуда тока пучка максимальна. Как видно из рисунка эта зависимость подчиняется закону «3/2». Эксперименты также показали, что при постоянном значении магнитного поля формирование электронного пучка сохраняется при изменении амплитуды напряжения на 25% от оптимального значения.

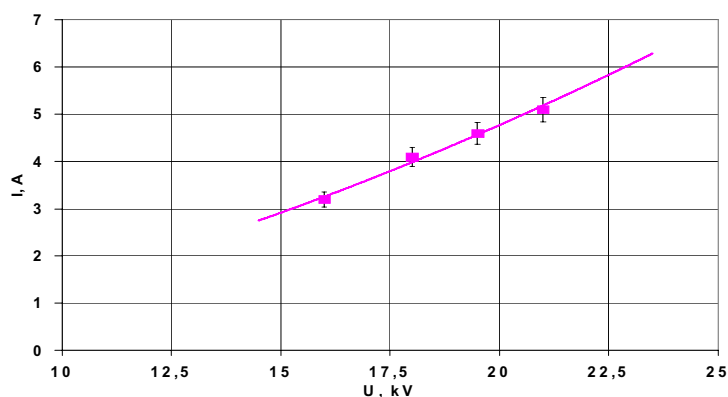
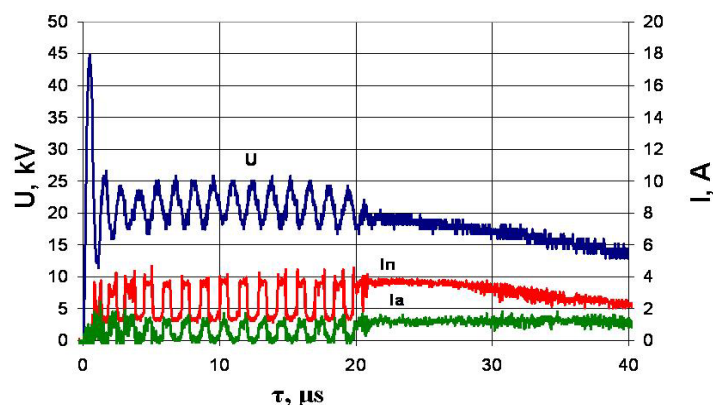


Рис.5. Зависимость тока пучка от напряжения на катоде

В магнетронной пушке также возникал режим генерации сгустков тока пучка и анодного тока длительностью ~ 1 мкс в течение 20 мкс при напряжении на катоде ~ 22 кВ (рис.6) и магнитном поле близком к полю отсечки, что наблюдалось при исследовании магнетронных пушек, находящихся в продольном магнитном поле, создаваемым соленоидом [4]. Период колебаний составляет $\sim 1,4$ мкс, что согласуется с характерной частотой разрядного контура. Через промежуток времени ~ 20 мкс, когда амплитуда напряжения на катоде уменьшилась до напряжения отсечки [2, 4], магнетронная пушка работала в обычном режиме генерации тока.

Рис.6. Осциллограммы напряжения на катоде (U) и токов на цилиндр Фарадея (I_n) и анод (I_a)

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований создана малогабаритная магнетронная пушка с вторичноэмиссионным катодом и магнитной системой на основе кольцевых постоянных магнитов (пакетированная магнетронная пушка). Получен электронный пучок с током ~ 5 А при напряжении на катоде ~ 20 кВ и длительности импульса ~ 50 мкс. Получен и исследован режим генерации сгустков тока пучка и анодного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волколупов Ю.Я., Довбня А.Н., Закутин В.В. и др. Генерация электронных пучков в магнетронном диоде с металлическим вторичноэмиссионным катодом // ЖТФ.-2001.-Т.71.-В.7.-С.88-91.
2. Saveliev Y.M., Sibbet W., Parkes D.M. Self-excitation and characteristics of the crossed-field emission electron source // Review of Scientific Instruments.-1999.-Vol.70, №12.-P.4502-4514.
3. Довбня А.Н., Закутин В.В., Решетняк Н.Г. и др. Исследование азимутальной однородности электронного пучка в магнетронной пушке с вторичноэмиссионным катодом // Вестник Харьковского Национального университета, серия физическая «Ядра, частицы, поля».-2004.-№ 642.- Вып.3(25).-С.91-96.
4. Айзацкий Н.И., Довбня А.Н., Закутин В.В. и др. Формирование сгустков электронного тока в магнетронной пушке с вторичноэмиссионным катодом // Вестник Харьковского Национального университета, серия физическая «Ядра, частицы, поля».-2008.-№ 808.- Вып.1(37).-С.85-89.