

УДК 537.5

Д.Б.Самсонов (6 курс, каф. ФЭ), О.И.Лукша, к.ф.-м.н., доц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМИССИОННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КАТОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ 74.2 ГГц / 100 кВт ГИРОТРОНА

ABSTRACT: The investigation of emission inhomogeneity of two LaB₆ cathodes and a metallic-porous cathode in the 74.2 GHz, 100 kW gyrotron has been performed in this paper. The influence of cathode emission inhomogeneity on parasitic low-frequency oscillations and output parameters of the gyrotron was studied experimentally.

Гиротроны являются мощными длинноимпульсными источниками когерентного электромагнитного излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Среди возможных применений таких приборов можно выделить нагрев плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза.

«Активная среда» устройств гиротронного типа – винтовой электронный поток (ВЭП), в котором значительная часть энергии частиц сосредоточена в поперечном движении. Важным фактором, определяющим качество ВЭП и, следовательно, выходные параметры гиротрона, является степень однородности эмиссии термокатодов, используемых в качестве источников электронов.

В настоящей работе исследована эмиссионная неоднородность двух гексаборидлантановых и одного металлопористого катодов. Экспериментально определено влияние эмиссионных неоднородностей катода на выходные параметры гиротрона и характеристики паразитных низкочастотных колебаний, обусловленных отражением части ВЭП от магнитной пробки и накоплением пространственного заряда в ловушке между катодом и резонатором.

Исследования проводились в экспериментальном гиротроне с рабочей частотой 74,2 ГГц и выходной мощностью до 100 кВт. Измерения были выполнены при ускоряющем напряжении U_0 до 30 кВ и токе пучка I_n до 10 А в режиме разовых импульсов длительностью порядка 40 мкс.

Азимутальное распределение плотности эмиссионного тока определялось в режиме без магнитного поля путем измерения тока зонда, установленного за 1 мм отверстием в аноде, в зависимости от азимутального положения катодного узла. Несмотря на то, что гексаборидлантановые катоды были изготовлены по одной технологии в одно и то же время, степень их эмиссионной однородности, а также суммарная эмиссионная активность заметно различаются. По-видимому, это связано с более жесткими условиями эксплуатации одного из катодов, в том числе с большим числом циклов развакуумирования гиротрона. В течение короткого времени эксплуатации, когда гиротрон не подвергается развакуумированию, азимутальные распределения плотности тока эмиссии изменяются незначительно для гексаборидлантановых катодов.

В начале периода измерений распределения плотности тока эмиссии металлопористого катода, после предварительной активировки, катод характеризовался довольно однородным распределением на большей части поверхности. Разброс значений плотностей токов, определенный как относительное среднее квадратичное отклонение, при этом составлял 30 – 35 %. Однако, данный катод показал заметно большую чувствительность к внешним воздействиям по сравнению с испытанными ранее гексаборидлантановыми катодами. Наблюдалось падение средней эмиссионной активности катода с течением времени в стандартном режиме работы гиротрона при длительности импульса $\tau \cong 40$ мкс частоте

следования $f \cong 1$ имп./мин., в том числе при отборе тока на анод в отсутствие магнитного поля. Кроме того, в процессе измерений характеристик винтового электронного потока и выходных параметров гиротрона с данным катодом азимутальное распределение тока эмиссии становилось заметно более неоднородным, что, видимо, связано с суммарным эффектом воздействия потоков вторичных частиц на поверхность катода во время его эксплуатации. При этом давление остаточного газа в работающем гиротроне не превышало $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ Торр для металлопористого катода и $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ Торр для гексаборидлантановых катодов.

Для исследованных катодов была обнаружена корреляция между степенью эмиссионной неоднородности и параметрами, характеризующими работу экспериментального гиротрона: выходной мощностью и КПД, а также амплитудой паразитных низкочастотных колебаний.

Низкочастотные паразитные колебания измерялись с помощью специальной антенны, установленной снаружи прибора, и зонда, расположенного в самом гиротроне.

Достигнутые максимальные значения КПД для исследованных катодов указаны в табл. 1. Обнаруженное снижение эффективности при переходе к более неоднородному по эмиссии катоду может быть связано как с изменением особенностей взаимодействия ВЭП с электромагнитным полем в резонаторе при увеличении пространственной неоднородности пучка [1], так и ухудшением качества ВЭП, в частности, из-за возрастания разброса по скоростям [2]. Последнее обстоятельство, на наш взгляд, являлось причиной возрастания интенсивности паразитных низкочастотных колебаний, наблюдаемого при увеличении эмиссионной неоднородности катода.

Таблица 1.

Катод	Разброс значений плотности токов	Максимальный КПД ($U_0 = 30$ кВ, $I_b = 10$ А)	Пороговый питч-фактор, соответствующий появлению НЧ колебаний
LaB ₆	20 – 25 %	30 – 32 %	~ 1.3
LaB ₆	40 – 50 %	25 – 27 %	~ 1.2
W-Ba	70 – 80 %	< 20 %	~ 1.1

С ростом эмиссионной неоднородности катода наблюдалось увеличение амплитуды колебаний и уменьшение значения порогового питч-фактора α_n , равного отношению поперечной скорости электронов к продольной, который соответствовал возникновению паразитных НЧ сигналов. Значения α_n для исследованных катодов приведены в табл. 1. Имея в виду природу НЧ колебаний, обусловленную отражением электронов от магнитной пробки и накоплением пространственного заряда в ловушке между катодом и пробкой, можно предположить, что для возбуждения НЧ колебаний необходимо обеспечить, чтобы определенная доля ВЭП отражалась от магнитной пробки. Тогда уменьшение α_n с ростом эмиссионной неоднородности катода свидетельствует о возрастании разброса электронов по скоростям.

Влияние эмиссионных неоднородностей на разброс по скоростям может проявляться как через действие неоднородных полей пространственного заряда на этапе формирования ВЭП, так и из-за влияния полей пятен, обусловленных неоднородностью работы выхода по поверхности, на разброс начальных скоростей [2].

Полученные данные о воздействии азимутальной неоднородности ВЭП, обусловленной неоднородностью эмиссии катода, на паразитные низкочастотные колебания в гиротроне и его КПД, позволяют определить условия стабильной работы гиротрона, отличающейся высокой эффективностью. Также появляется возможность реализации гиротрона с большим значением питч-фактора в режимах с подавленными НЧ колебаниями, что в свою очередь может привести к еще большему значению КПД.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Nusinovich G.S. et al.// Phys. Plasmas, vol. 8, no. 7, 2001, pp. 3473-3479.
2. Louksha O.I., Sominski G.G., Kas'yanenko D.V.// J. Communication Technology and Electronics, vol. 45, suppl. 1, 2000, pp. 71-76.