

04;10

Автокомпенсация ионного пучка в ускорителе с анодным слоем

© А.А. Бизюков, А.Е. Кашаба, К.Н. Серета,
А.Ф. Целуйко, Н.Н. Юнаков

Харьковский государственный университет

Поступило в Редакцию 19 ноября 1996 г.

Описаны эксперименты по изучению автокомпенсации ионного пучка. Показано, что в ускорителях с анодным слоем в случае изолированного коллектора возникает автокомпенсация вследствие возбуждения дополнительного несамостоятельного газового разряда.

Эффективному воздействию ионного пучка на диэлектрическую поверхность в условиях низкого давления газа препятствует поверхностный заряд, создаваемый пучком и приводящий к торможению налетающих ионов. Для устранения негативного действия поверхностного заряда, как правило, используется зарядовая нейтрализация ионного пучка с помощью дополнительных устройств, инжектирующих электроны или отрицательные ионы в ионный пучок [1]. В настоящей работе исследуется токовая автокомпенсация ионного пучка в ускорителе с анодным слоем [2] посредством дополнительного газового разряда магнетронного типа, формирующегося у выходной щели снаружи ионного источника в условиях изолированного коллектора пучка. Возбуждение дополнительного разряда обусловлено характерными геометрическими и конструктивными особенностями данного типа ионных источников, получивших весьма широкое распространение в плазменно-технологических системах.

Эксперименты по изучению автокомпенсации пучка проводились с использованием стандартного ионного источника с анодным слоем типа "Радикал" [3] с диаметром трубчатого пучка 10 см. Диэлектрическая поверхность моделировалась гальванически оторванным металлическим коллектором пучка, находившимся под плавающим потенциалом, измеряемым электростатическим вольтметром. Диапазон рабочих напряжений источника V_p составлял 1–5 кВ, что соответствовало максимуму функции распределения ионов пучка по энергиям $W_{i\max} = (0.3-0.4) \cdot eV_p$.

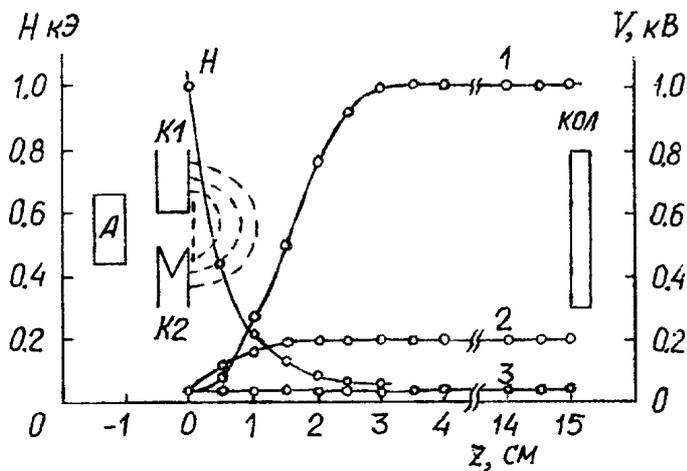


Рис. 1. Пространственное распределение напряженности магнитного поля (H) и потенциала плазмы (1, 2 — изолированный коллектор, 3 — заземленный коллектор). $V_p = 3$ кВ; 1 — $p = 10^{-4}$ мм рт. ст., 2 — $p = 4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., 3 — $p = 10^{-4}$ и $4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. А — анод, К1 и К2 — катоды ионного источника, С — заземленная металлическая сетка, Кол — коллектор ионного пучка.

Рабочее давление в пространстве транспортировки пучка p поддерживалось в пределах $8 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Особенностью ионных источников с анодным слоем является наличие наружного арочного магнитного поля вблизи выходной кольцевой щели источника, формирующегося посредством магнитопроводящих катодов К1 и К2. Топология магнитного поля H и пространственное распределение поперечной составляющей его напряженности вдоль распространения пучка приведены на этом же рисунке. Электромагнитная ловушка электронов, образованная арочным магнитным полем и катодами К1 и К2, подобна электромагнитной ловушке планарного магнетрона [4]. В зависимости от величины положительного смещения потенциала внешней вторичной плазмы относительно земли можно ожидать не только удержание электронов во внешней электромагнитной ловушке, но и генерацию дополнительных заряженных частиц, т. е. возбуждение дополнительного разряда, ана-

логичного разряда в планарном газовом магнетроне снаружи ионного источника.

На рис. 1 также приведено пространственное распределение потенциала вторичной плазмы вдоль распространения ионного пучка в случае изолированного коллектора, находящегося под плавающим потенциалом (кривые 1, 2), и в случае заземленного коллектора (кривая 3). Из рисунка видно, что в первом случае потенциал плазмы имеет большое положительное смещение относительно катодов (практически равное потенциалу коллектора), приводящее к возникновению сильного продольного электрического поля в области внешней электромагнитной ловушки. С целью исключения проникновения электрического поля из источника выходная щель дополнительно закрывалась заземленной металлической сеткой. Наличие скрещенных продольного электрического и поперечного магнитного полей приводит к возбуждению дополнительного заряда, который визуализируется как появление интенсивного свечения снаружи выходной щели источника. В случае же, когда коллектор пучка заземлен, потенциал плазмы мало отличается от потенциала земли (следовательно, и катодов), что устраняет условия возникновения дополнительного разряда, внешне проявляющегося как исчезновение интенсивного свечения вне источника. Таким образом, непременным условием появления внешнего разряда является достаточный положительный относительно земли потенциал коллектора пучка V_k .

На рис. 2, а показаны зависимости потенциала V_k от разрядного напряжения V_p для различных давлений в пространстве транспортировки ионного пучка. В условиях низкого давления ($p < 10^{-4}$ мм рт. ст., кривая 1) потенциал коллектора растет пропорционально ускоряющему напряжению V_p и обратно пропорционально давлению p ($V_k \sim 1/p$). При этом основное падение потенциала V (рис. 1, кривая 1) и интенсивное свечение локализованы в области малых магнитных полей. Данное распределение потенциала и зависимости параметров характерны для высоковольтного разряда с анодным слоем в скрещенных полях. При давлении выше $3 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. (рис. 2, а, кривая 2) потенциал коллектора стабилизируется на уровне $200 \div 300$ В и сравнительно слабо зависит от разрядного напряжения и давления. В этих условиях основное падение потенциала (рис. 1, кривая 2) и интенсивное свечение сосредоточены в области сильного магнитного поля. Такие распределения потенциала и зависимости параметров характерны для газового разряда магнетронного типа.

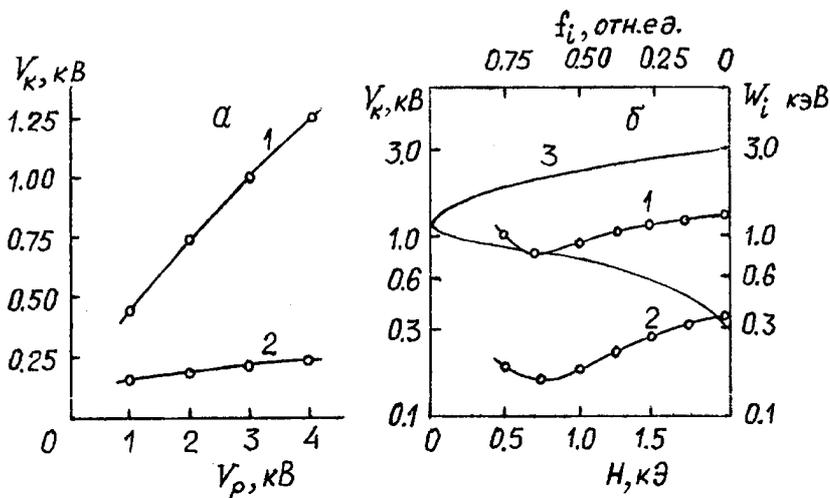


Рис. 2. а) Зависимость потенциала изолированного коллектора V_k от напряжения на ионном источнике V_p (1 — $p = 10^{-4}$ мм рт. ст., 2 — $p = 4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.). б) Зависимость потенциала изолированного коллектора V_k от напряженности магнитного поля H в зазоре выходной щели ионного источника (1 — $p = 10^{-4}$ мм рт. ст., 2 — $p = 4 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., $V_p = 3$ кВ) и функция распределения ионов пучка по энергиям (кривая 3, $V_p = 3$ кВ).

На рис. 2, б также представлены зависимости потенциала изолированного коллектора ионов от напряженности магнитного поля в щели источника. Видно, что как в случае высоковольтного внешнего разряда (область низких давлений, кривая 1), так и в случае внешнего разряда магнетронного типа (давление выше $3 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., кривая 2) существует определенный оптимум, характерный для разрядов данного типа по величине магнитного поля, определяемый конструктивным исполнением данного источника.

Необходимо отметить, что энергия, идущая на возбуждение дополнительного разряда, черпается из энергии ионного пучка посредством формирования остаточного потенциала V_k на коллекторе и потери ионами пучка энергии $\Delta W_i = q_i V_k$, где q_i — заряд ионов. Функция распределения ионов по энергиям на выходе из ионного источника (кривая 3) в случае заземленного коллектора пучка приведена на рис. 2, б. Характерно, что

в условиях разряда магнетронного типа происходит лишь сравнительно небольшое торможение ионов пучка ($\Delta W_i \simeq 150 \div 300 \text{ эВ} \ll W_{i \max}$), в то время как в разряде с анодным слоем, наряду со значительными потерями ионами энергии ($\Delta W_i \simeq 800 \div 1200 \text{ эВ} \simeq W_{i \max}$) происходит отражение от изолированного коллектора существенной доли ионов пучка, энергия которых ниже ΔW_i . Величина остаточного потенциала коллектора устанавливается автоматически на уровне, обеспечивающем генерацию разряда соответствующего типа ток электронов, равный току пучка ионов [5].

Таким образом, в работе показано, что в ускорителях с анодным слоем в случае изолированного коллектора возникает автокомпенсация ионного пучка за счет возбуждения дополнительного несамостоятельного газового разряда вне ионного источника, обеспечивающего нейтрализующий электронный ток на поверхность. При этом в условиях низкого давления формируется высоковольтный разряд с анодным слоем в скрещенных электрическом и магнитном полях с относительно невысокой скоростью генерации заряженных частиц, а при повышенном давлении происходит переход к высокоэффективному разряду магнетронного типа, обеспечивающему практически полную токовую компенсацию ионного пучка.

Список литературы

- [1] *Габович М.Д.* Физика и техника плазменных источников ионов. М.: Атомиздат, 1972. 304 с.
- [2] *Гришин С.Д., Ерофеев В.С., Жаринов А.В.* В кн.: Плазменные ускорители. Под ред. Арцимовича Л.А. М.: Машиностроение, 1973. С. 54.
- [3] *Машиев Ю.П.* // Вакуумная техника и технология. 1992. Т. 2. № 3, 4. С. 53–58.
- [4] *Данилин Б.С.* Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 63–120.
- [5] *Морозов А.И.* Физические основы космических электрореактивных двигателей. М.: Атомиздат, 1978. 328 с.