

04;10;12

Инициирование объемного разряда низкого давления в плазменном источнике электронов с ленточным пучком

© В.Я. Мартенс

Ставропольский государственный технический университет,
355038 Ставрополь, Россия

(Поступило в Редакцию 18 мая 1998 г.)

Представлены результаты экспериментального исследования объемного разряда низкого давления с клинообразным полым катодом в плазменном источнике электронов при инициировании этого разряда отражательным и магнетронным разрядами.

Одним из наиболее эффективных методов термической обработки полупроводниковых материалов и приборов является электронно-лучевой метод [1]. В частности, для рекристаллизации поликристаллического кремния на изоляторе целесообразно применение стационарных ленточных электронных пучков шириной 1–3 мм с плотностью мощности до 1 kW/cm^2 и энергией электронов не более 10 keV [2,3]. Для формирования таких пучков с малым углом сходимости эмиттеры должны обеспечить плотность тока эмиссии до 100 mA/cm^2 . Представляется целесообразным решение этой задачи с помощью плазменных эмиттеров непрерывного действия, в которых плазма необходимой плотности и однородности генерируется в специальных газоразрядных структурах. Линейчатый эмиссионный канал в плазменном источнике электронов такого типа может быть выполнен в анодном или катодном электродах генератора плазмы. При этом сравнительно большое сечение канала не позволяет достичь существенного перепада давлений между рабочим объемом генератора эмиттирующей плазмы и промежутком ускорения эмиттированных электронов. В этих условиях электродная структура плазменного источника электронов должна содержать в генераторе плазмы специальные иницирующие системы, облегчающие зажигание разряда при низком давлении.

В работе представлены результаты исследования разряда низкого давления в электродной структуре с клинообразным полым катодом при инициировании этого разряда отражательным и магнетронным разрядами (рис. 1, *a* и *b*).

В первом случае в разрядной ячейке, образованной плоским катодом 1, анодом 2 и плоской внешней частью клинообразного полого катода 3 зажигается отражательный разряд (вспомогательный). Электроны из отражательного разряда через отверстие диаметром 3 мм проникают внутрь клинообразного полого катода и иницируют основной разряд. Минимально необходимый для этого ток вспомогательного разряда составляет 50 mA при расходе рабочего газа (аргона) $4.5 \text{ m}^3 \cdot \text{mPa/s}$. В аноде основного разряда 4 выполнено щелевое эмиссионное отверстие размером $60 \times 2.5 \text{ mm}$. После зажигания основного разряда вспомогательный разряд гасится снятием напряжения $U_{ад}$. При расходе

аргона $4.5 \text{ m}^3 \cdot \text{mPa/s}$ давление в ускоряющем промежутке составляло $\sim 10^{-2} \text{ Pa}$, а в клинообразном пологом катоде $\sim 10^{-1} \text{ Pa}$. Клинообразная форма полого катода выбрана из следующих соображений. Первичные электроны, выходящие вследствие ионно-электронной эмиссии с поверхности катода с некоторой начальной скоростью и ускоренные в катодном падении потенциала, в случае достижения ими катодного падения потенциала противоположного участка полого катода входят в него не по нормали, а под некоторым углом к ней вследствие непараллельности поверхности клинообразного полого катода. Нормальная составляющая скорости этих электронов такова, что они не могут преодолеть катодное падение потенциала и достичь противоположного участка полого катода и отражаются электрическим полем катодного падения потенциала без потери энергии. Такое отражение электронов может повторяться многократно. Следствием этого является существенное увеличение среднего времени жизни первичных электронов и соответственно эффективности ионизации газа. Возможно, этот эффект позволяет существовать разряду при низком давлении без поддержки его электронами, инжектируемыми из вспомогательного разряда.

Инициирование основного разряда магнетронным разрядом осуществляется следующим образом (рис. 1, *b*). Ключ *S* устанавливается в положении *a*. Между катодами 1 и 3 зажигается вспомогательный магнетронный разряд, анодом которого является клинообразный полый катод 3. Затем ключ *S* переключается в положение *p*, и между клинообразным полым катодом, образуемым электродами 1 и 3, и анодом 4 зажигается основной разряд. За время переключения магнетронный разряд не гаснет, так как напряжение с анода 4 не снимается и в это время он является анодом магнетронного разряда. Минимально необходимый ток магнетронного разряда, при котором возможно инициирование основного разряда, выше, чем в первой схеме инициирования, и составляет 200 mA при расходе аргона $6.8 \text{ m}^3 \cdot \text{mPa/s}$.

На рис. 2 представлены вольт-амперные характеристики разряда с клинообразным полым катодом, иницируемого отражательным (*a*) и магнетронным (*b*) разрядами. Как известно [4], низковольтный разряд с полым катодом может устойчиво гореть лишь при токе, превышающем

некоторое критическое значение. Уменьшение разрядного тока приводит, в частности, к расширению области катодного падения потенциала, противоположные участки которого в конечном итоге могут перекрываться внутри полости. При этом обычно резко возрастает напряжение горения разряда или разряд гаснет. Последнее имеет место в нашем случае. Крайне левые точки экспериментальных кривых на рис. 2 соответствуют критическим значениям тока основного разряда. При увеличении рас-

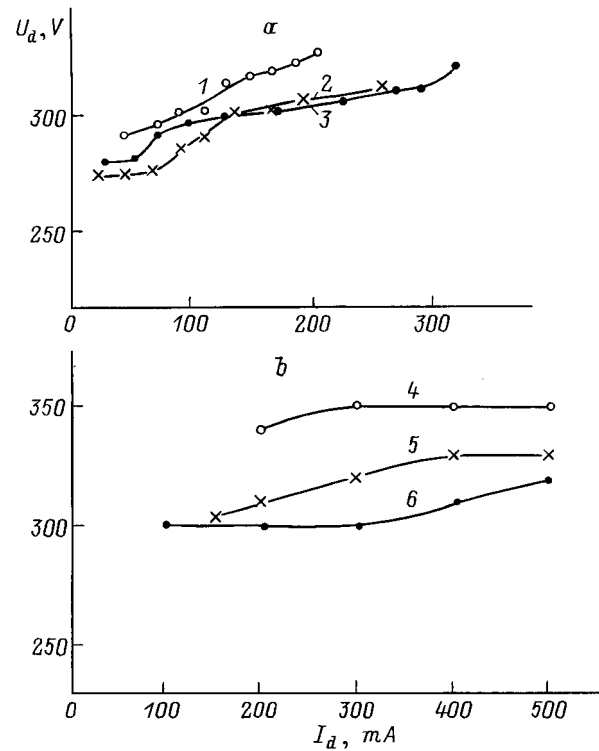


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики разряда с клинообразным полым катодом, инициируемого отражательным (а) и магнетронным (b) разрядами. Рабочий газ — аргон. Расход газа Q , $\text{m}^3 \cdot \text{mPa/s}$: 1 — 3.4, 2 — 4.5, 3 — 5.6, 4 — 5.1, 5 — 6.8, 6 — 8.4.

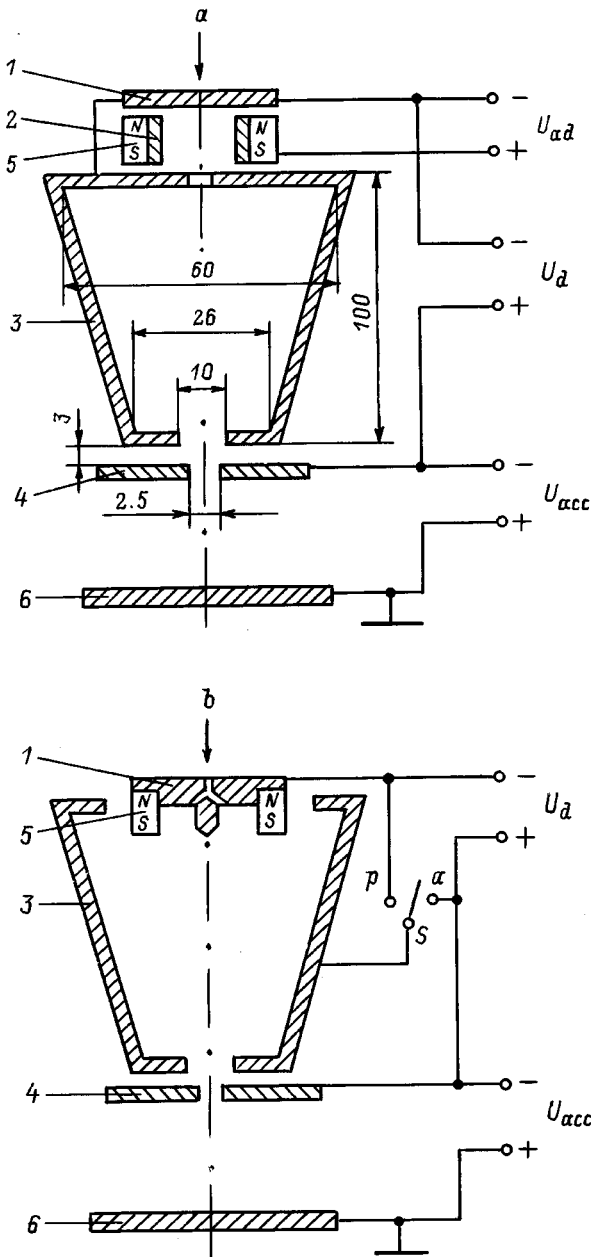


Рис. 1. Схемы плазменного источника электронов с ленточным пучком при инициировании основного разряда отражательным (а) и магнетронным (b) разрядами: 1 — плоский катод, 2 — анод вспомогательного разряда, 3 — клинообразный полый катод, 4 — анод основного разряда, 5 — постоянный кольцевой магнит, 6 — коллектор.

хода газа и снижении напряжения горения разряда U_d критические токи уменьшаются. Если сравнивать между собой основные разряды с различными схемами инициирования, то обращает на себя внимание тот факт, что во втором случае (рис. 1, b) даже при больших расходах рабочего газа критические токи выше, чем в первом случае (рис. 1, a). Возможно, это является следствием различий в величине и конфигурации магнитного поля в верхней части клинообразного полого катода.

С помощью указанных плазменных эмиттеров были получены токи эмиссии I_e до 200 mA при эффективности эмиссии $\alpha = 0.5-0.7$ ($\alpha = I_e/I_d$, I_d — ток основного разряда) и экономичности $H = 1.7-2.3 \text{ mA/W}$. Сравнение характеристик основного разряда, инициируемого отражательным и магнетронным разрядами, показало, что в первом случае обеспечиваются меньшие критические токи и требуется меньший расход рабочего газа, однако конструкция и схема электрического питания в этом случае несколько сложнее. Выбор того или иного варианта при разработке плазменного источника электронов с ленточным пучком зависит от конкретных требований к источнику.

Автор благодарит Ю.А. Бурачевского за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] *McMahon R.A., Ahmed H., Godfrey D.J.* et al. // *Microelectronics J.* 1984. Vol. 15. N 2. P. 5–23.
- [2] *Thompson L.R., Knapp J.A., Moore C.A.* et al. // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 1988. Vol. 107. P. 195–199.
- [3] *Moore C.A., Meyer J.D., Fukumoto J.T.* et al. // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 1988. Vol. 107. P. 207–212.
- [4] *Бугаев С.П., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М.* Электронные пучки большого сечения. М.: Энергоатомиздат, 1984. С. 43.