

04;12

Влияние типа катода на динамические характеристики волн ионизации

© А.С. Арефьев, Ю.А. Юдаев

Рязанская государственная радиотехническая академия

Поступило в Редакцию 31 октября 1997 г.

Экспериментально определено влияние различных типов катодов на динамические характеристики волн ионизации. Установлено, что при иницировании разряда импульсами отрицательной полярности максимальная скорость распространения волн наблюдается при холодном катоде, а максимальное обострение переднего фронта выходного импульса тока при накаливаемом. Обсуждается механизм данного явления.

Определенный теоретический и практический интерес представляет изучение влияния различных типов катодов на динамические характеристики волнового пробоя газовых промежутков. Анализ научной литературы [1,2] не дает ответа на вопрос о значении эмиссии с поверхности электрода на динамические характеристики волн ионизации (скорость перемещения, время формирования, обострение импульса тока и др.). Более того, во многих публикациях утверждается, что тип катода не влияет на свойства ионизационных волн. Однако проведенные экспериментальные исследования показали, что наличие термоэмиссии с катода имеет значение при формировании "медленных" волн ионизации, когда скорость распространения лежит в диапазоне $10^6 - 10^7$ м/с. Конструкция прибора, на котором проводились экспериментальные исследования, показана на рис. 1. Расстояние между торцами электродов составляло 270 мм при диаметре 30 мм. Для создания однородных экспериментальных условий исследования проводились на одном макете, где в качестве холодного и накаливаемого катода использовался оксидный катод косвенного накала 4.

При измерении скорости распространения волны учитывалось, что токорегирующие датчики 5 отнесены от объема, в котором происходит формирование плазмы на расстояния L_1 и L_3 (рис. 1), поэтому скорость распространения высоковольтного импульса на этих участках принималась равной скорости света, а скорость распространения волны

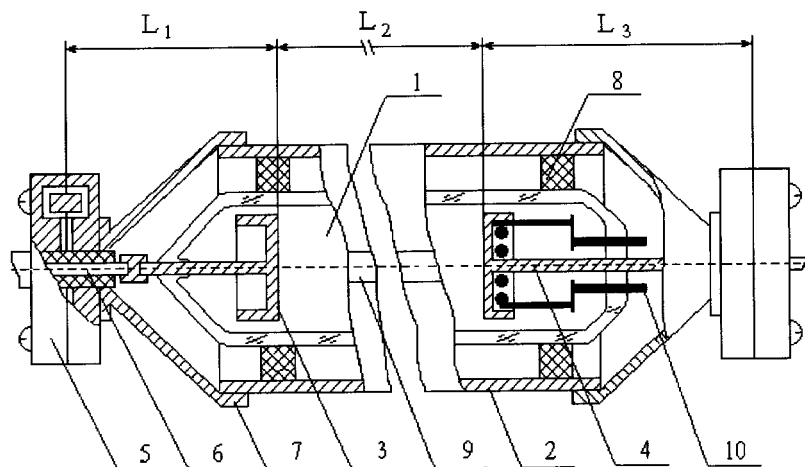


Рис. 1. Экспериментальный макет для исследования динамических характеристик волны ионизации: 1 — колба прибора; 2 — экран; 3 — анод; 4 — катод; 5 — токовые шунты; 6 — высоковольтный кабель; 7 — согласующее устройство; 8 — изолятор; 9 — щель для визуальных наблюдений; 10 — выводы подогревателя катода.

ионизации определялась по формуле

$$V = L_2 / (t_2 - t_1 - (L_1 + L_3) / c),$$

где t_1 и t_2 — время появления сигнала на первом и втором датчиках тока соответственно; c — скорость света; L_1 , L_2 , L_3 — расстояния (рис. 1).

На рис. 2, *a* и *b* приведены зависимости скорости распространения волны ионизации от давления неона для макета с различными типами катодов. Поджиг осуществлялся импульсами отрицательной полярности со стороны катода со скоростью нарастания напряжения $5 \cdot 10^{11}$ В/с.

При сравнительном анализе этих зависимостей можно видеть, что в случае холодного катода волна ионизации распространяется с бóльшей скоростью, чем при накаливаемом. Такое поведение может быть объяснено следующими причинами. На скорость распространения волн ионизации оказывают воздействие два взаимосвязанных процесса: ударная и фотоионизация. Причем взаимное влияние этих факторов на механизм образования ионов меняется при изменении концентрации наполняющего

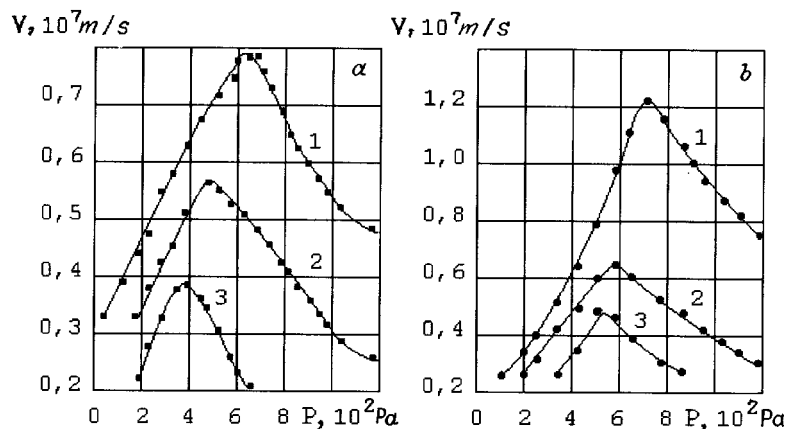


Рис. 2. Зависимость скорости распространения волны ионизации от давления неона для различных типов катодов: *a* — нагретый, *b* — холодный. Управляющие импульсы отрицательной полярности $dU/dt = 5 \cdot 10^{11}$ В/с: 1 — 13 кВ; 2 — 11 кВ; 3 — 9 кВ.

газа. При низком давлении оба процесса играют незначительную роль и волна ионизации имеет небольшую скорость. Увеличение давления приводит к увеличению роли фото- и ударной ионизации. Максимуму скорости распространения (рис. 2) соответствуют оптимальные условия образования заряженных частиц.

С увеличением амплитуды инициирующих импульсов происходит сдвиг максимума скорости распространения волны в область большего давления как в экспериментах с холодным, так и с нагретым катодами. Увеличение амплитуды импульса напряжения, прикладываемого к промежутку, приводит к росту энергии, приобретаемой электронами на длине свободного пробега, но в то же время уменьшает вероятность ионизации атомов газа, что влечет за собой снижение скорости распространения волны в промежутке. И только увеличение давления позволяет уменьшить длину свободного пробега, при которой вероятность ионизации электрона будет максимальной.

В случае нагретого катода выход электронов с поверхности электрода значительно облегчается, что приводит к более интенсивному образованию плазмы, чем в случае с холодным катодом, когда для обра-

зования такой же концентрации заряженных частиц требуется большее время. Присутствие в объеме накаливаемого катода делает процесс образования плазмы более интенсивным, однако образование заряженных частиц начинается при небольшом напряжении на электроде, что делает скорость распространения волны более низкой, чем при холодном катоде (рис. 2).

Оказывает влияние тип катода и на форму импульса тока. При накаленном катоде наблюдается более сильное обострение выходного импульса при меньшей скорости распространения.

При увеличении скорости нарастания иницирующего напряжения до $5 \cdot 10^{12}$ V/s максимум скорости распространения смещался в область большего давления, а различия в скорости распространения волн ионизации все более уменьшались. Изменение геометрии катода (длины, диаметра, площади поверхности, конфигурации) не приводило к изменению временных и энергетических характеристик ионизационных волн.

Формирование разряда положительными импульсами со стороны анода показало, что динамические характеристики волн ионизации не зависят от характера второго электрода, за исключением длительности переднего фронта импульса тока и напряжения, регистрируемого в цепи катода. В случае накаленного катода обострение выходного импульса было более значительным, чем при холодном, несмотря на то что скорость распространения в обоих случаях была одинаковой. Изменение амплитуды и крутизны прикладываемого импульса напряжения меняло количественные результаты, не меняя общей закономерности процессов.

Использование описанных явлений в плазменных коммутаторах тока позволило в несколько раз увеличить быстродействие приборов и увеличить скорость нарастания анодного тока [3].

Список литературы

- [1] Асиновский Э.И., Василяк Л.М., Марковец В.В. // ТВТ. 1983. Т. 21. № 3. С. 577–590.
- [2] Лагарьков А.Н., Руткевич И.М. Волны электрического пробоя в ограниченной плазме. М.: Наука, 1989. 206 с.
- [3] Arefiev A.S., Yudaev Yu.A. // Proceedings of the XII International Conference on Gas Discharges and Their Applications. Greifswald, Germany. 1997. V. 2. P. 800–803.