

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ПРОБОЯ ОБРАЩЕННОГО КОАКСИАЛЬНОГО ДИОДА С МАГНИТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

И. И. Винтизенко, А. С. Сулакшин, В. И. Цветков

Перспективы практического применения сильноточных электронных пучков во многом определяются возможностями увеличения длительности импульса тока, формируемого обычно в коаксиальных диодах с магнитной изоляцией (КДМИ).

В частности, именно этим обусловлено внимание к обращенным КДМИ, позволяющим при прочих равных условиях заметно увеличить длительность импульса тока по сравнению с прямыми диодами [1].

В данном сообщении приводятся результаты экспериментов, уточняющие сделанный в [1] вывод о преимущественном влиянии процессов в прианодном плазменном слое на длительность магнитной изоляции в обращенном КДМИ.

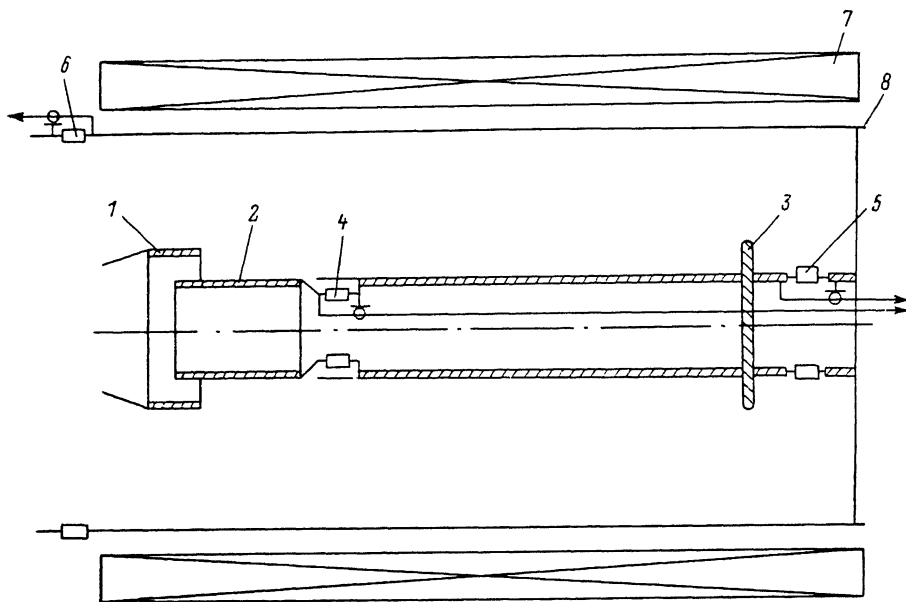


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — катод, 2 — анод, 3 — коллектор, 4 — шунт поперечного тока, 5 — шунт коллекторного тока, 6 — шунт полного тока, 7 — соленоид, 8 — вакуумная камера.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Высоковольтный импульс напряжения отрицательной полярности подается на катод 1, выполненный из нержавеющей стали. Диаметр катода 70 мм, анода 50 мм, коллектора 80 мм. Расстояние катод—коллектор превышало 600 мм, что исключало возможность продольного замыкания диода коллекторной плазмой при характерных для эксперимента длительностях импульса напряжения. Исследовались аноды, изготовленные из углерода, алюминия, меди, латуни, свинца, нержавеющей стали, молибдена, вольфрама и вольфрам-ренийевого сплава. Как видно из перечисления, материалы обладают широким диапазоном различных физических свойств.

Аксиальная длина анодов 50 мм. Экранированным шунтом 4 измерялся ток электронов, протекающий на анод поперек внешнего изолирующего магнитного поля. Кроме того, измерительная цепь включала шунт коллекторного тока 5 и шунт полного тока ускорителя 6, активный делитель напряжения. Отметим, что показания шунтов 5 и 6 соответствовали друг другу, свидетельствуя, таким образом, об отсутствии потерь электронного тока на поверхность вакуумной камеры 8 (диаметр 180 мм) и «паразитной» эмиссии с катододержателя. В вакуумной камере поддерживался вакуум не ниже 10^{-4} Тор; откачка осуществлялась турбомолекулярным насосом ТМН-500. Магнитная система 7 формировала однородное магнитное поле индукцией до 2.6 Тл.

На рис. 2, а представлены зависимости длительности длительности изоляции τ , определяемой на уровне 0.1 импульса напряжения, от величины индукции внешнего магнитного поля для анодов из различных материалов (1 — С; 2 — Cu; 3 — Pb, Mo, W, W—Re, Al, нержавеющая сталь). На рис. 2, б приведены типичные для всех экспериментов зависимости напряжения на диоде и тока, протекающего поперек зазора, от магнитного поля.

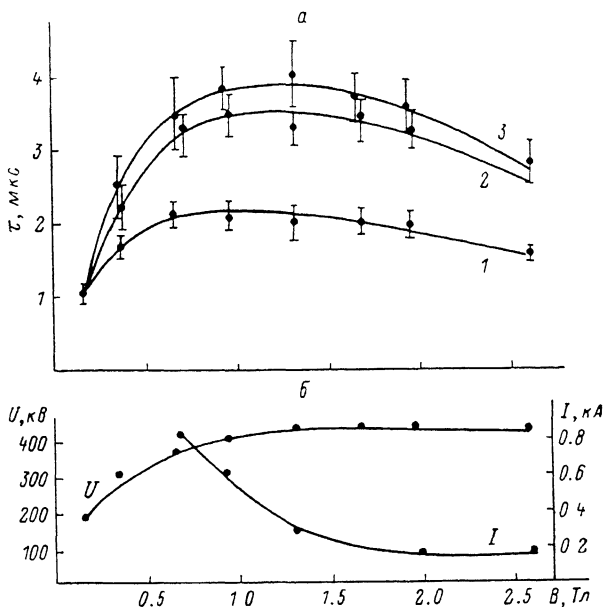


Рис. 2.

Ход зависимостей $\tau(B)$ для большинства исследованных материалов совпадает в пределах точности измерений (кривая 3). Существенные отличия зафиксированы для анодов из углерода (кривая 1) и меди (кривая 2), т. е. для материалов, обладающих пониженными в сравнении с остальными значениями энергии десорбции водорода [2]. В таблице приведены максимальные значения длительности магнитной изоляции и соответствующие значения энергии десорбции водорода для некоторых исследованных материалов анода.

Выбор в качестве параметра энергии десорбции водорода определяется данными работы [3], в которой показано, что $\sim 2/3$ ионного тока в обращенном диоде переносится протонами и лишь $1/3$ ионами материала анода. Следовательно, можно сделать вывод об определении ионов водорода в составе анодной плазмы. Следует отметить также, что использование водородосодержащих анодных покрытий существенно снижает длительность магнитной изоляции по сравнению и с металлическим, и с графитовым анодом [3-5].

Описанные результаты качественно совпадают с данными работы [6], в которой исследовалась зависимость скорости переключения прямого КДМИ от материала катода. Это указывает на схожесть процессов, протекающих на центральном электроде обращенного и прямого КДМИ, особенно с учетом того факта, что в катодной плазме прямого КДМИ независимо от материала катода отмечается наличие водорода [7].

Можно считать установленным, что причиной пробоя прямого КДМИ является центробежная неустойчивость, развивающаяся в прикатодном плазменном образовании [8]. Механизм пробоя обращенного КДМИ с учетом данных настоящей работы и результатов, приведенных в [1, 3-6, 8], можно представить следующим образом. Протекающий через межэлектродный зазор поперек внешнего магнитного поля электронный ток, сопровождающийся мощным высокочастотным излучением, вызывает десорбцию и ионизацию молекул воздуха и органических загрязнений на поверхности анода. Как указывается в [3], даже при выделении

Материал анода	τ , мкс	Энергия десорбции водорода, ккал/моль [1]
Mo	4.5	40
W	4.6	46
Нерж. сталь	4.2	32 (Fe)
Cu	3.7	8
C	2.4	2.4

аноде энергии, меньшей энергии испарения материала анода, наблюдается ионный ток, содержащий значительное количество протонов.

Причиной радиального движения анодной плазмы поперек изолирующего магнитного поля, видимо, является развитие в прианодном плазменном слое центробежной неустойчивости. Основанием для такого вывода служат зависимости $\tau(B)$ (рис. 2, а), имеющие характерный максимум.

При увеличении индукции магнитного поля от критического значения (в нашем случае ~ 0.25 Тл) до оптимального $B_{\text{опт}}$ (~ 1 Тл) увеличение τ можно связать с уменьшением величины электронного тока, протекающего поперек зазора и обуславливающего процесс плазмообразования на аноде (рис. 2, б). Дальнейшее увеличение практически не изменяет величины этого тока, но, согласно [8], ведет к росту инкремента центробежной неустойчивости, следствием чего является падающий характер зависимости $\tau(B)$ при $B > B_{\text{опт}}$.

Можно указать еще некоторые особенности развития приобращенного КДМИ, в частности значительный разброс экспериментальных значений τ для металлических анодов. По-видимому, это указывает на нестабильность процесса образования плазменного слоя на металлических анодах в отличие от графитовых или с водородосодержащим покрытием за счет подавления положительной обратной связи между электронным и ионным потоками [3].

Таким образом, исследования подтверждают выводы работы [1] об определяющем влиянии на длительность магнитной изоляции в обращенном КДМИ физических процессов на центральном электроде — аноде. Как в прямом, так и в обращенном диодах существенное влияние на процесс пробоя межэлектродного промежутка оказывает материал центрального электрода. Заметное увеличение длительности магнитной изоляции в обращенном КДМИ объясняется временной задержкой образования плазменного слоя на центральном электроде диода, составляющей единицы микросекунд [3].

Наиболее вероятным механизмом пробоя обращенного КДМИ представляется развитие центробежной неустойчивости в прианодном плазменном слое.

Литература

- [1] Винтизенко И. И., Сулакшин А. С., Цветков В. И. Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 8, с. 449—453.
- [2] Черепнин Н. В. Сорбционные явления в вакуумной технике. М.: Сов. радио, 1973. 383 с.
- [3] Блинов П. И., Долгачев Г. И., Скорюпин В. А. Физика плазмы, 1982, т. 8, № 5, с. 958—962.
- [4] Бакшаев Ю. Л., Блинов П. И., Долгачев Г. И., Скорюпин В. А. Физика плазмы, 1979, т. 5, № 5, с. 1041—1043.
- [5] Luckhardt S. C., Fleischmann H. H., Kribell R. E. Cornell University Report, 1977, FRL-1. 15 p.
- [6] Кошелев В. И. Физика плазмы, 1979, т. 5, № 3, с. 698—701.
- [7] Бакирт Р. Б., Бугаев С. П., Кошелев В. И. и др. Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, № 13, с. 593—597.
- [8] Бугаев С. П., Ким А. А., Климов А. И., Кошелев В. И. Физика плазмы, 1981, т. 7, № 3, с. 529—539.

Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом институте им. С. М. Кирова

Поступило в Редакцию
4 июля 1987 г.

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ НА ОСНОВЕ p -ZnSnAs₂

Ю. В. Рудь, М. А. Таиров

Кристаллы тройного соединения ZnSnAs₂ в процессах выращивания с применением легирования различными примесями удается получать только p -типа проводимости, тогда как конверсия $p \rightarrow n$ достигается лишь облучением быстрыми электронами [1, 2]. В настоящее время диодные структуры уже получены на всех соединениях II—IV—V₂ и только для ZnSnAs₂ эта проблема оставалась до сих пор нерешенной [3], что тормозило оценку возмож-