

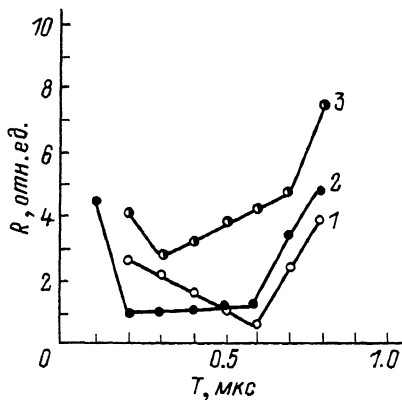
ПРЕРЫВАНИЕ ТОКА В ГАЗОНАПОЛНЕННОМ ДИОДЕ
ИНЖЕКТОРА ИОННОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ

В.А. К и я ш к о, Е.А. К о р н и л о в,
В.А. В и н о к у р о в, А.М. Г о р б а н ь,
Л.А. Л о г и н о в, В.Б. М о с к а л е н к о

В связи с развитием работ по инерциальному термоядерному синтезу представляет интерес исследование процессов прерывания тока в сильноточных плазмонаполненных диодах, приводящих к обострению мощности генерируемых пучков ускоренных частиц [1]. Как правило, для этого используют так называемые плазменно-эрозионные размыкатели (ПЭР), включаемые параллельно высоковольтному диоду [2]. При этом ПЭР является внешним устройством по отношению к диоду, что существенно усложняет весь ускорительный комплекс. В работе [3] предложено для повышения мощности генерируемого электронного пучка использовать прерывание тока непосредственно в самом высоковольтном диоде, являющимся одновременно источником пучка и размыкателем. Однако в работе [3] размыкание тока наблюдалось только при сравнительно больших значениях ускоряющего напряжения (~ 1 МВ) и разрядного тока диода (~ 200 кА), что, по-видимому, связано с большой величиной предельного тока, необходимого для создания собственного магнитного поля, обеспечивающего запираание электронного тока в диоде.

В данной работе исследуется режим прерывания в плазмонаполненном диоде с внешним изолирующим магнитным полем остроугольной геометрии, применявшемся ранее для генерации килоамперных ионных пучков в инжекторе ионного индукционного ускорителя, схема которого приведена в работе [4]. Ускоряющая система инжектора выполнена по типу линейного индукционного трансформатора из ферромагнитных сердечников, собранных в виде ускоряющей секции, состоящей из десяти индукторов, первичные витки которых через высоковольтный разрядник подключены к емкостному накопителю энергии (батарея из четырех конденсаторов типа ИК-50-3М общей емкостью 12 мкФ, заряжаемая до напряжения 35 кВ). Анод и катод диода инжектора размещены на расстоянии $d = 30$ мм друг от друга в стеклянной вакуумной камере, снаружи которой расположены магнитные катушки, включенные навстречу друг другу и создающие в области А-К зазора изолирующее магнитное поле типа „касп“, индукцией $B_{\max} \approx 10$ кГс, служащее для подавления электронного тока в диоде. При включении магнитного поля и ускоряющего напряжения амплитудой $U \sim 200-300$ кВ, рабочий газ, инжектируемый импульсным клапаном в полость анода, ионизуется, и в А-К зазоре образуется плазма с концентрацией $n_p \approx 10^{13}$ см $^{-3}$, служащая источником ионного пучка. Поскольку электроны плазмы

Рис. 1. Зависимость импеданса диода от времени при различной концентрации водорода в А-К зазоре. $n_0 = 1.6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (кривая 1), $n_0 = 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (кривая 2), $n_0 = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (кривая 3).



при этом замагничены, а ионы не замагничены, то ионный ток I_i может составлять существенную долю ($\approx 10\%$) от полного тока I_0 диода, который в данных экспериментах достигал 30 кА при длительности импульса $\approx 10^{-6}$ с.

Характерной особенностью данных экспериментов является использование для генерации мощных ионных пучков высоковольтного газонаполненного диода с изолирующим магнитным полем в А-К зазоре. Как показано в работе [4], такой диод может работать в различных режимах: с падающим, квазипостоянным и растущим импедансом в течении длительности импульса ускоряющего напряжения, что объясняется динамикой образования и рассасывания плазмы в А-К зазоре. В [4] приведено выражение, связывающее параметры диода и начальную концентрацию нейтрального рабочего газа в диоде n_0^* , при которой устанавливается динамическое равновесие между скоростью образования плазмы и скоростью рассасывания плазмы в А-К зазоре под действием ускоряющего напряжения U , что обеспечивает постоянство импеданса диода

$$n_0^* = (Z_i e U / 2 M_i)^{1/2} \left[d \sum_{\alpha=1,2} \langle \sigma v \rangle_{\alpha} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где e - заряд электрона, Z_i и M_i - кратность ионизации и масса иона соответственно, d - величина А-К зазора в диоде, $\langle \sigma v \rangle_{\alpha}$ - коэффициенты ионизации рабочего газа электронами ($\alpha = 1$) и ионами ($\alpha = 2$). В случае заполнения диода рабочим газом с концентрацией $n_0 > n_0^*$ реализуется режим с падающим импедансом (режим короткого замыкания), поскольку в А-К зазоре создается избыток плазмы, а в случае $n_0 < n_0^*$ - режим с растущим импедансом, поскольку рассасывание плазмы происходит быстрее, чем ее наработка за счет ионизации газа, что иллюстрируется зависимостями, представленными на рис. 1. В режиме с растущим импедансом происходит прерывание тока в А-К зазоре, сопровождающееся повышением ускоряющего напряжения на величину ΔU , равную

$$\Delta U = -L \frac{dI_0}{dt}, \quad (2)$$

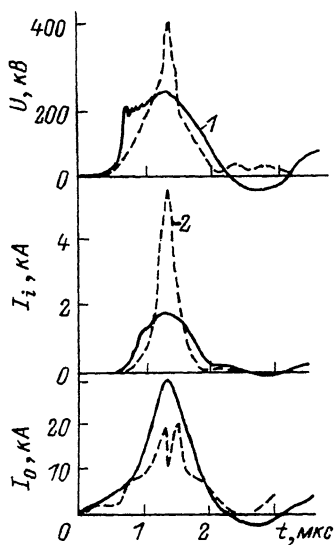


Рис. 2. Осциллограмма импульсов ускоряющего напряжения U , тока ионного пучка I_i и полного тока диода I_0 при концентрации водорода в А-К зазоре. $n_0 = 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (1) и $n_0 = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (2).

где L – индуктивность вторичного витка линейного индукционного трансформатора, $\frac{dI_0}{dt}$ – скорость изменения полного разрядного тока в диоде. В данном случае индуктивность $L \approx 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$, а $\frac{dI}{dt} \approx 7 \cdot 10^{10} \text{ А/с}$. Следовательно, для величины dU из выражения (2) получим: $dU \approx 190 \text{ кВ}$, что иллюстрируется осциллограммами, приведенными на рис. 2. Как следует

из рис. 2, двукратное повышение ускоряющего напряжения сопровождается трехкратным повышением ионного тока, ускоряемого в диоде, наряду с уменьшением полного разрядного тока, что приводит к обострению (6-кратному) мощности ионного пучка, длительность импульса которого при этом сокращается примерно в 3 раза. Рост ионного тока в диоде, по-видимому, обусловлен ростом плотности анодной плазмы и увеличением эмиссии ионов во время генерации на аноде повышенного ускоряющего напряжения.

Таким образом, проведенные эксперименты подтверждают возможность повышения ускоряющего напряжения и обострения мощности в газонаполненных ионных диодах с магнитной изоляцией, работающих в режиме с растущим импедансом.

Л и т е р а т у р а

- [1] К о в а л ь ч у к Б.М., К р е м н е в В.В., П о т а л и ц ы н Ю.Ф. Сильноточные наносекундные коммутаторы. Новосибирск: Наука, 1979. 156 с.
- [2] Д о л г а ч е в Г.И., З а к а т о в Л.П., С к о р ю п и н В.А. – Вопросы атомной науки и техники, сер. Термоядерный синтез, 1986, в. 2, с. 31–32.
- [3] А б д у л и н Э.Н., Б а ж е н о в Г.П., Б а с т р и к о в А.Н. и д р. – Физика плазмы, 1985, т. 11, в. 1, с. 109–110.
- [4] К и я ш к о В.А., К о р н и л о в Е.А., В и н о к у р о в В.А. – Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, в. 5, с. 264–267.

Харьковский физико-технический институт АН УССР

Поступило в Редакцию
30 июля 1987 г.