

чения (пересечение графиков заселенностей 01 и 02 связано с тем, что n_{20} есть заселенность мультиплета 20, вчетверо превышающая заселенность нижнего лазерного уровня 10^0).

Изменение заселенностей колебательных уровней под действием лазерного излучения является причиной насыщения коэффициента усиления лазерного излучения. Зависимость коэффициента усиления от интенсивности излучения описывается известной формулой

$$K = \frac{K_0}{1 + \frac{I}{I_s}}, \quad K_0 = \sigma_0 \frac{n_{CO_2}}{A} (\alpha_a - \alpha_c^2),$$

где K_0 — коэффициент усиления слабого сигнала, а интенсивность насыщения вычисляется с помощью выражения (8):

$$I_s = \frac{\hbar\omega (\sigma_{эф}/\sigma_{00}^{10}) W_{00}^{10} n_M}{\sigma_0 \alpha_a \left[1 - \frac{B}{A} \left(1 - \frac{\alpha_c^2}{\alpha_a} \right) \right]}$$

Предполагается, что при изменении интенсивности излучения напряженность электрического поля в разряде изменяется так, что температура электронов остается фиксированной.

Поступила 4 XI 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордиец Б. Ф., Соболев Н. Н., Шлепин Л. А. Кинетика физических процессов в ОКГ на CO_2 . — ЖЭТФ, 1967, т. 53, № 11.
2. Елецкий А. В., Смирнов Б. М. Газовые лазеры. М., Атомиздат, 1970.

УДК 537.521.7

УСКОРЕНИЕ ИОНОВ В ВАКУУМНОМ ДИОДЕ

В. И. Кошелев, Н. А. Ратахин, М. И. Тимофеев

(Томск)

Исследованы временные, массовые и энергетические характеристики коллективного ускорения ионов в вакуумном диоде. Ускорение ионов наблюдалось только при наличии всплесков на осциллограмме плотности тока. Максимальные энергии ионов в аксиальном и радиальном направлениях равны и зависят от кратности заряда. Показано, что в режим ускорения вовлекаются ионы прикатодной плазмы.

При изучении взрывной эмиссии электронов в вакуумном диоде обнаружены два режима токоотбора: устойчивый и неустойчивый. Неустойчивый режим сопровождается существенными всплесками на осциллограммах полного тока [1] и плотности электронного тока [2]. Методом автографов было обнаружено, что при неустойчивом токоотборе формируются электронные струи, локализованные в пространстве. При наличии всплесков на осциллограмме полного тока зарегистрировано

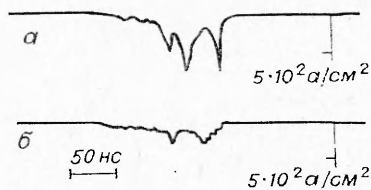
ускорение положительных ионов в направлении к аноду [1]. Поскольку существует взаимосвязь между этими явлениями, представляется необходимым изучение временных, массовых, энергетических характеристик ускоренных ионов, а также локализация области ускорения ионов для понимания механизма неустойчивого токоотбора.

Наиболее подробно взрывная эмиссия электронов и режимы токоотбора исследовались при напряжении на диоде $\sim 10^4$ В. Привлечение данных о коллективном ускорении ионов в вакуумном диоде, полученных при более высоких напряжениях [1, 3–5], практически невозможно из-за их противоречивости. Поэтому представляется необходимым исследовать характеристики ускорительного процесса при указанном выше напряжении.

Эксперименты проводились при давлении 10^{-5} мм рт. ст. Пробой осуществлялся между острым катодом (Cu, W) и плоским анодом (Cu, Ta, W). Межэлектродный зазор устанавливался в пределах $d=1-5$ мм. На диод подавались одиночные импульсы напряжения амплитудой $U_0=25$ кВ, длительностью 5–150 нс. Плотность электронного тока исследовалась с помощью коллектора, находившегося за отверстием диаметром $0,1 d$ в центре анода. Временные характеристики исследовались методом оборванного разряда. Был предусмотрен прогрев анода до температуры $\sim 2000^\circ\text{C}$. Ионные потоки регистрировались при помощи масс-спектрографа Томсона с электронно-оптическим регистратором, чувствительность которого в $\sim 10^4$ раз выше, чем при фотографической регистрации. Разрешающая способность не превышала 25. Масс-спектрограф мог располагаться в радиальном направлении на расстоянии 20 мм от оси диода, а также вдоль оси диода за отверстием в аноде диаметром 1 мм или за отверстием того же диаметра в катододержателе.

В экспериментах по изучению плотности электронного тока j_e в центре анода было обнаружено, что существенные всплески на осциллограмме регистрируются при длительности импульса напряжения $\tau_n \geq 1/2 t_k$ (t_k — длительность высоковольтной стадии вакуумного разряда). Максимальное превышение всплесков над основным уровнем j_e достигало $F=4-5$, при этом регистрировался интенсивный ионный поток в направлении к катоду, в составе которого ионы материала электродов не были зарегистрированы. В [6] было показано, что источником этих ионов является прианодная плазма и пучок ускоряется приложенным к диоду напряжением во время высоковольтной стадии вакуумного разряда. Прогрев анода до температуры $\sim 1500^\circ\text{C}$ приводил к резкому уменьшению интенсивности ионного пучка, что указывало на отсутствие плазмы на нагретом аноде. При этом плотность электронного тока в центре анода падала в 1,5–2 раза, однако всплески на j_e не исчезали, хотя F не превышало двух. На фиг. 1 приведены осциллограммы j_e при $d=3$ мм, $\tau_n=150$ нс на холодном (фиг. 1, а) и нагретом (фиг. 1, б) анодах Та (катод — Cu).

Ускорение ионов в сторону анода и в радиальном направлении регистрировалось только при длительности импульса напряжения $\tau_n \geq 1/2 t_k$. Массовый состав и энергетические характеристики радиальных ионов не изменялись в зависимости от того, подавался ли импульс напряжения положительной полярности на анод при заземленном катоде или отрицательной полярности на катод при заземленном аноде. Зарегистрированы ионы S^{+2} , S^+ , O^+ , CO_2^{+2} , CO^+ (фиг. 2), ионы материала электродов не обнаружены. Для выяснения вопроса, не происходит ли ускорение



Ф и г. 1



Ф и г. 2

ионов в плазме анодного факела, которая в условиях эксперимента имеет примерно тот же массовый состав [6], что и пучок коллективно ускоренных ионов, анод нагревался до температуры, при которой плазма на аноде отсутствовала ($\sim 1500^\circ\text{C}$), при этом ускорение ионов как в сторону анода, так и в радиальном направлении не исчезало. Это указывает на катодное происхождение ускоренных ионов.

Максимальные энергии ионов $E_{i,\text{max}}$ в аксиальном (фиг. 2, а, $N=100$ имп.) и радиальном (фиг. 2, б, $N=300$ имп.) направлениях равны и составляют ~ 20 кэВ. Из масс-спектрограмм ($d=1,5$ мм, $\tau_{\text{и}}=75$ нс, катод — Си, анод — Си) видно, что в данном случае максимальные энергии ионов зависят от кратности заряда. Величина эффективности ускорительного процесса, определяемая как $k = \frac{E_{i,\text{max}}}{eU_g}$, равна 2—3.

На основании экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Коллективное ускорение ионов в аксиальном и радиальном направлениях при отсутствии плазмы на аноде указывает на то, что ускоряются ионы плазмы катодного факела.

2. Наличие всплесков на j_e при отсутствии плазмы анодного факела свидетельствует о том, что неустойчивость электронного пучка в вакуумном диоде определяется процессами в прикатодной плазме.

3. Зависимость максимальной энергии ионов от кратности заряда указывает на потенциальный характер механизма коллективного ускорения ионов в вакуумном диоде.

Авторы благодарят С. П. Бугаева за полезные дискуссии.

Поступила 4 XI 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Корон Е. Д., Плюто А. А. — ЖТФ, 1971, т. 41, с. 1055.
2. Проскуровский Д. И., Ротштейн В. П. — «Изв. высш. учеб. заведений. Физика», 1973, т. 11, с. 142.
3. Bradley L., Kuswa G. — «Phys. Rev. Lett.», 1972, vol. 29, N 21, p. 1441.
4. Kuswa G. W., Bradley L. P., Yonas G. — «IEEE Trans. on Nucl. Sci.», 1973, NS-20, N 3, p. 305.
5. Jhou S. Luce, Harry L. Sahlin, Thomas R. Crites. — «IEEE Trans. on Nucl. Sci.», 1973, NS-20, N 3, p. 336.
6. Бугаев С. П., Кошелев В. И., Тимофеев М. Н. — «Изв. высш. учеб. заведений. Физика», 1974, т. 2, с. 57.