

Излучения нет при $\alpha < 1$. В случае (1) мы имеем дело с спектром звуковых квантов, и поэтому излучение будет иметь место и при $\alpha < 1$. Оно имеет крутой максимум под углом $\theta_1 \sim (1 - \alpha)^{1/2} \gamma^{-1}$. Проинтегрировав (2) по Ω в окрестности θ_1 , найдем спектр излучения

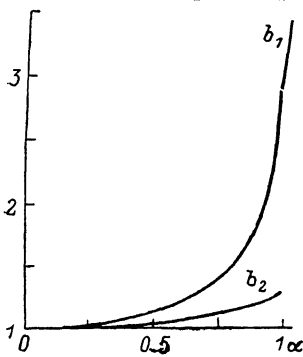


Рис. 2. Зависимость b_1 и b_2 из формулы (6) от $\alpha = k_0 c \gamma / \omega_{pl}$.

(рис. 1). При $\alpha \leq 1$ (независимо от φ) имеется максимум в окрестности $\gamma \omega_{pl}$. Нетрудно понять его природу. Излученная энергия пропорциональна числу квантов ультразвукового поля $N_s(k_s)$, способных путем их поглощения зарядом родить γ -кванты. Можно убедиться, что максимумы на кривых рис. 1 соответствуют максимумам функции $N_s[k_s(\omega, \theta \sim \theta_1)]$ (см. (4)) при тех же φ и α . Полная энергия излучения

$$W \approx (b_1 + b_2 \cos 2\varphi) W_{tr}, \quad (6)$$

где $W_{tr} = q^2 \Delta n^2 \gamma \omega_{pl} / 48 c n_0^2$ — энергия переходного излучения заряда q на границе раздела однородных сред с плотностями электронов n_0 и $n_0 + 2^{-1/2} \Delta n$ (эффективное значение в поле ультразвуковой волны), а величины b_1, b_2 приведены на рис. 2. При $\alpha \leq 0.3$ имеем $b_1 \approx 1 + 0.45 \alpha^2$ и $b_2 \approx 1 + 0.15 \alpha^2$.

Отметим, что особый интерес представляет задача о пластине с возбужденными в ней стоячими ультразвуковыми колебаниями. Например, при пролете электронов с $\gamma = 10^4$ через пластину поликристаллического SiO_2 или аморфного кварцевого стекла, в котором возбуждены колебания с длиной волны 0.4 мм, кроме переходного [2] будет также дополнительное излучение с $\omega \approx 5 \cdot 10^{20}$ Гц. Результаты расчетов публикуются в следующей работе.

Литература

- [1] Тер-Микаелян М. Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Ереван, 1969, 457 с.
- [2] Гарибян Г. М., Ян Ши. Рентгеновское переходное излучение. Ереван, 1983, 320 с.
- [3] Гинзбург В. Л., Цытович В. Н. Переходное излучение и переходное рассеяние. М.: Наука, 1984, 360 с.
- [4] Давыдов В. А. Изв. вузов. Радиофизика, 1982, т. 25, № 12, с. 1429—1448.
- [5] Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика. М.: Наука, 1981, 503 с.

Институт прикладных проблем физики
АН АрмССР
Ереван

Поступило в Редакцию
22 июня 1987 г.

НАПРЯЖЕНИЕ ГОРЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНЫХ ВАКУУМНЫХ ДУГ НА ЧИСТЫХ МЕТАЛЛАХ

В. Н. Баринов, В. К. Гончаров, Е. П. Туромша

В настоящее время широкое применение в сильноточной коммутирующей технике получили разного рода вакуумные приборы, действие которых связано с возникновением дугового разряда (управляемые вакуумные разрядники, вакуумные выключатели и др.). Весьма актуальным становится исследование физических процессов, происходящих в плазме и приэлектродных областях вакуумных дуг, в частности систематическое изучение электрических характеристик сильноточных импульсных разрядов.

Целью данной работы является измерение напряжения горения сильноточных импульсных разрядов в вакууме на 22 чистых металлах.

Эксперименты проводились на установке, описанной в [1]. Источником питания импульсной вакуумной дуги служил ($R-L-C$)-контур с изменяющимися параметрами, генерирующий аperiodические импульсы тока амплитудой от 10 А до 20 кА и длительностью от 5 мкс до 300 мс. Давление остаточных газов в рабочей камере $P \sim 10^{-3}$ Па. Инициирование разряда осуществлялось при помощи вспомогательного электрода, помещенного вблизи катода.

Исследования напряжения горения вакуумных дуг проводились в условиях протекания в разряде импульсов тока пилообразной формы с различной скоростью нарастания тока. Для получения пилообразных импульсов использован метод принудительного гашения вакуумной дуги, который основан на шунтировании межэлектродного промежутка через заданные интервалы времени от начала разряда. Объектом исследования служили электроды цилиндрической формы с диаметром рабочей поверхности 10 мм. Для регистрации напряже-

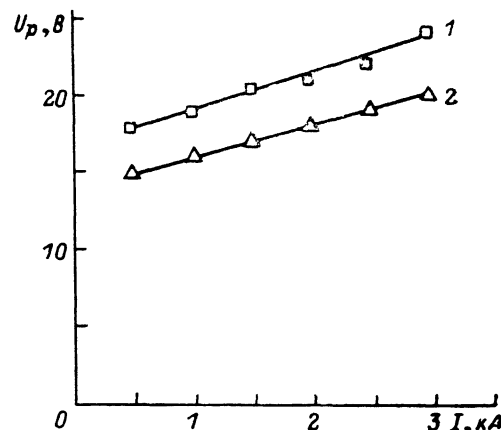
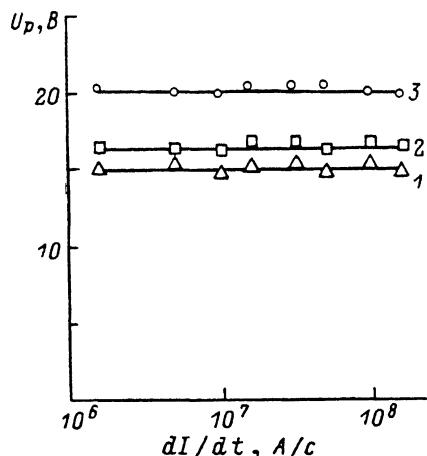


Рис. 1. Зависимость U_p от dI/dt на медных электродах для токов разряда $I = 500$ (1), 1000 (2) и 3000 А (3).

Рис. 2. Зависимость U_p от I для $S_A = 16 \times 10^{-4}$ (2) и $0.8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ (1) при разряде на медных электродах.

ния на электродах U_p и тока I в цепи использовался двухлучевой запоминающий осциллограф С8-14. Напряжение измерялось с точностью $\sim 2\%$ компенсационным методом. При этом на один вход дифференциального усилителя подавалось измеряемое напряжение горения дуги, а на другой — постоянное напряжение от эталонного источника. Исследования проводились при минимально возможном расстоянии между электродами, равном 0.5 мм. Оба электрода изготавливались из одного и того же материала. Перед началом измерений производилось несколько десятков предварительных разрядов для очистки поверхности электродов от случайных загрязнений. Значения U_p брались как среднее по 50 измерениям.

Значения напряжения горения U_p сильноточного дугового разряда

Материал электрода	$I_p, \text{ А}$							
	100	300	500	1000	1500	2000	2500	3000
Медь	15.1	15.1	15.2	16.1	17.2	18.2	19.3	20.2
Серебро	12.3	12.3	12.4	13.0	13.5	14.2	15.3	16.1
Бериллий	18.3	18.3	18.4	19.1	20.1	21.3	22.4	23.4
Магний	13.2	13.2	13.2	13.6	14.1	15.2	16.1	16.9
Цинк	10.2	10.2	10.3	10.4	10.5	11.0	11.4	12.1
Кадмий	10.3	10.3	10.3	10.4	10.4	10.4	10.5	11.0
Алюминий	17.3	17.3	17.3	17.6	18.2	19.3	20.3	21.2
Индий	11.0	11.0	11.0	11.0	11.1	11.1	11.1	11.2
Таллий	9.0	9.0	9.0	9.1	9.1	9.2	9.5	10.2
Титан	18.4	18.4	18.4	18.5	18.5	18.7	19.0	19.5
Цирконий	19.1	19.1	19.1	19.1	19.2	19.2	19.3	19.3
Олово	13.0	13.0	13.0	13.6	14.3	15.1	16.0	17.1
Свинец	10.3	10.3	10.3	10.9	11.7	12.7	13.8	14.8
Тантал	20.1	20.1	20.2	20.9	21.9	23.0	24.2	25.2
Висмут	9.2	9.2	9.2	9.3	9.6	10.0	10.5	10.8
Хром	15.9	15.9	15.9	16.1	16.5	17.0	17.9	19.1
Молибден	21.1	21.1	21.1	21.2	21.1	21.5	21.9	22.3
Вольфрам	19.2	19.2	19.2	19.2	19.3	19.6	20.2	20.9
Железо	18.4	18.4	18.4	18.5	18.9	19.4	19.9	20.8
Кобальт	17.0	17.0	17.0	17.3	17.8	18.4	19.0	19.5
Никель	17.2	17.2	17.2	17.3	17.4	17.5	17.9	18.5
Рений	19.8	19.8	19.9	22.3	25.2	27.9	29.9	32.2

На рис. 1 представлены результаты измерений напряжения горения разряда на медных электродах при различных скоростях нарастания тока dI/dt в импульсе. Оказалось что в исследованном диапазоне dI/dt напряжение не зависит от скорости ввода энергии в электрод, поэтому все дальнейшие измерения напряжения горения дуги проводились при импульсах тока с $I=3000$ А и длительностью 300 мкс ($dI/dt \approx 10^7$ А/с).

Результаты измерений напряжения горения импульсных вакуумных дуг представлены в таблице. При токах до 500 А напряжение горения на всех исследуемых металлах не зависит от тока и практически совпадает с катодным падением в области токов до нескольких десятков ампер [2, 3]. При $I > 500$ А начинает наблюдаться возрастание U_p (медь, серебро, бериллий и др.). На таких металлах, как кадмий, таллий, цирконий, индий, напряжение горения не изменяется вплоть до токов около 3000 А, и лишь при дальнейшем увеличении тока U_p начинает расти и для этих металлов.

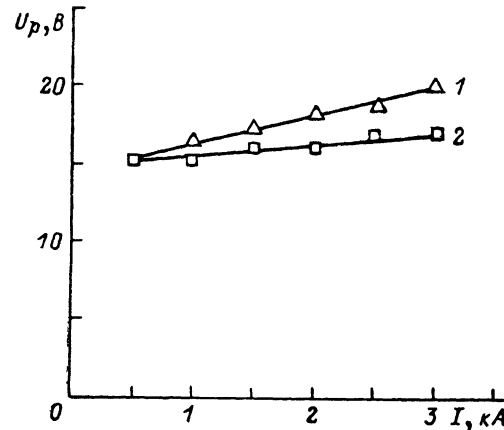


Рис. 3. Зависимость U_p от I для анодов из меди (1) и вольфрама (2) (катод — медный).

потенциала, которое растет при увеличении тока и уменьшении площади анода [6]. Для проверки этого предположения измерялось напряжение горения дуги на анодах разной площади (рис. 2). Наблюдалось заметное (~ 3 В) увеличение U_p при уменьшении площади анода, связанное с изменением при больших токах анодного падения потенциала. Поскольку анодное падение зависит от материала анода [6], для различных анодов при одном и том же катоде должно существовать различие в вольт-амперных характеристиках сильноточных вакуумных дуг, а именно меньшее напряжение горения для анодов из материалов, у которых анодное падение меньше. Результаты таких экспериментов представлены на рис. 3. Площади электродов при этих условиях были равны.

Таким образом, исследования, проведенные на широком классе металлов, показали, что рост напряжения горения сильноточных импульсных разрядов при определенных значениях разрядного тока может быть объяснен изменением анодного падения потенциала.

Литература

- [1] Некрашевич И. Г., Смирнов А. В., Баринев В. Н. Вестник Белгосуниверситета, сер. 1, 1982, № 1, с. 9—14.
- [2] Кесаев И. Г. Катодные процессы электрической дуги. М.: Наука, 1968. 244 с.
- [3] Граков В. Е. ЖТФ, 1967, т. 37, № 2, с. 396—404.
- [4] Miller H. C. J. Phys. D., 1979, v. 12, p. 1293—1298.
- [5] Kimblin C. W. J. Appl. Phys., 1969, v. 40, p. 1744—1752.
- [6] Goldsmith S., Shalev S., Voxman R. F. IEEE Trans. Plasma Sci., 1983, v. PS-11, N 3, p. 127—132.

Белорусский государственный университет им. В. И. Ленина
 Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко
 Минск

Поступило в Редакцию
 25 июня 1987 г.