

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Кафедра физической электроники и технологии

### Изучение электрофизических процессов в газовом разряде с сэндвич-мишенью (ВАХ)

Студент: Кочин А.В. Группа: 5208 Руководитель: д.т.н., профессор Шаповалов В. И. **Цель:** Изучение газового разряда магнетрона с горячей, холодной и сэндвич мишенями и исследование процессов, которые оказывают влияния на их вольт-амперные характеристики.

### Задачи:

- 1. Разработать экспериментальный стенд для исследования вольт-амперных характеристик;
- 2. Измерить вольт-амперные характеристики;
- Проанализировать поведение вольт-амперных характеристик и сделать вывод о процессах, которые оказывают влияние на их вид.

#### Конструкция распыляемого блока



Рисунок 1 – Распыляемый блок с сэндвич-мишенью: *1* – внешняя мишень; *2* – крепежное кольцо, обеспечивающее зазор между мишенями; *3* – внутренняя мишень, охлаждаемая проточной водой; *4*– болты; *5* – прорези

### ВАХ магнетрона с горячей и холодной мишенью в среде аргона



Рисунок 2 – ВАХ разряда магнетрона с титановой горячей мишенью в среде аргона при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7

Рисунок 3 – ВАХ разряда магнетрона с титановой холодной мишенью в среде аргона при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-7

# ВАХ магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 12 мм в среде аргона



Рисунок 4 – ВАХ разряда магнетрона с титановой сэндвич-мишенью в среде аргона с диаметром отверстий 12 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7

## ВАХ магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 17 мм в среде аргона



Рисунок 5 – ВАХ разряда магнетрона с титановой сэндвич-мишенью в среде аргона с диаметром отверстий 17 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4

## Разряжение газа как процесс влияющий на ВАХ мишени

$$J_{\rm spTi} = \frac{jT - j_{\rm T}^{-}({}_{\rm t})}{e(1 + \gamma_{\rm Ti})} \dot{S}_{\rm Ti}$$
(1)

$$J_{\rm evTi} = \frac{10^{\left(A_{\rm Ti} - \frac{B_{\rm Ti}}{T_{\rm t}}\right)}}{\sqrt{2\pi i n_{\rm Ti} k_{\rm t}}}$$

(	7	)
l		J



Рисунок 6 – Потоки частиц титана при работе магнетрона с горячей мишенью в аргоне: J<sub>sp</sub> (1) и J<sub>ev</sub> (2, 3, 4, 5, 6, 7) (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 6-6; 7-7

$$\delta = \frac{S_{ome}}{S_t}, \qquad (3.3)$$

$$J_{Crev} = \frac{10^{\left(A_{Cr} - \frac{B_{Cr}}{T_t}\right)}}{\sqrt{2\pi i} R_{Cr} k_t}, \qquad (3.4)$$

$$I_{Crev} = i \frac{S_{Cr}}{\sqrt{2\pi i} R_{Cr} k_t}, \qquad (3.4)$$

$$J_{Crsp} = J \frac{c_{\prime}}{e(1 + \gamma_{Cr})}, \qquad (3.5)$$

$$J_{spST} = (1 - \delta)J_{Tisp} + \delta J_{Crsp}, \qquad (3.6)$$

$$J_{evST} = (1 - \delta)J_{Tiev} + \delta J_{Crev}, \qquad (3.7)$$



Рисунок 7 – Зависимость температуры от плотности тока для сэндвич-мишени диаметром 12 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 6-7

#### Температурные зависимости для сэндвич-мишени с диаметром отверстий 17 мм



Рисунок 8 – Зависимость температуры от плотности тока для сэндвичмишени диаметром 17 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4



Рисунок 9 – Потоки частиц титана при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 12 мм в аргоне: J<sub>sp</sub> (1) и J<sub>ev</sub> (2, 3, 4, 5, 6, 7) (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 6-6; 7-7



Рисунок 11 – Потоки частиц титана при работе магнетрона с сэндвичмишенью с диаметром отверстий 17 мм в аргоне:  $J_{sp}(1)$  и  $J_{ev}(2, 3, 4)$ (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4



Рисунок 12 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4, 5, 6, 7) и ионно-электронной (1) эмиссии при работе магнетрона с горячей мишенью при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 5-5; 6-6; 7-7



Рисунок 13 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4,5,6,7) и ионноэлектронной (1) эмиссии при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 12 мм при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 5-5; 6-6; 7-7



Рисунок 14 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4) и ионно-электронной (1) эмиссии при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 17 мм при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4

#### Выводы:

- Выполненный анализ позволил установить, что с разрежением газа, происходящим вблизи мишени, конкурирует термоэлектронная эмиссия.
- как видно из рисунков 12, 13 и 14 при увеличении давления уменьшается и значение тока термоэлектронной эмиссии. При пересечении зависимостей ионно-электронной и термоэлектронной эмиссии на рисунках можно наблюдать точки, которые свидетельствуют о том, что в данных точках термоэлектронная эмиссия на данных значениях плотности тока играет бо́льшую роль, а далее и вовсе становится преобладающим процессом. Это же и отражено на соответствующих ВАХ, которые были приведены на рисунках 2, 4 и 5

- для сэндвич-мишени с диаметром отверстий 12 мм термоэлектронная эмиссии будет вносить существенный вклад и преобладать на промежутке от 69 до 83 мА/см<sup>2</sup>. В свою очередь рисунок 3 этой подтверждает.
- для сэндвич-мишени с диаметром отверстий 17 мм термоэлектронная эмиссия становится преобладающей при токе на промежутке от 44 до 63 мА/см<sup>2</sup>. Точки значимости термоэлектронной эмиссии близки к точкам максимума на ВАХ.

### Спасибо за внимание!