



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;
3. Проанализировать поведение вольт-амперных характеристик и сделать вывод о процессах, которые оказывают влияние на их вид.

# Конструкция распыляемого блока

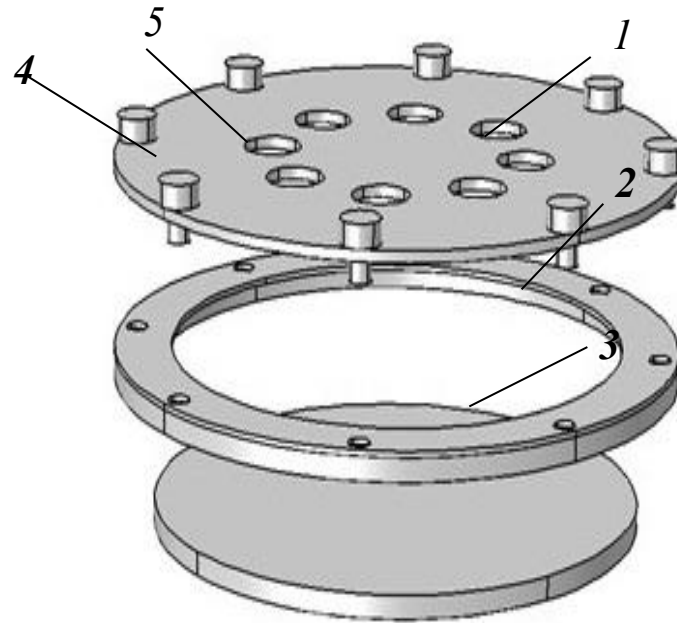


Рисунок 1 – Распыляемый блок с сэндвич-мишенью: 1 – внешняя мишень; 2 – крепежное кольцо, обеспечивающее зазор между мишенями; 3 – внутренняя мишень, охлаждаемая проточной водой; 4 – болты; 5 – прорези

# ВАХ магнетрона с горячей и холодной мишенью в среде аргона

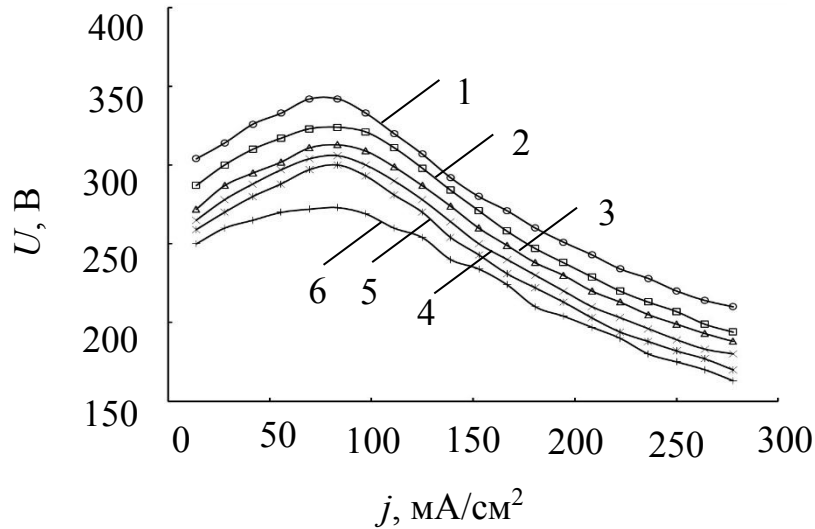


Рисунок 2 – ВАХ разряда магнетрона с титановой горячей мишенью в среде аргона при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7

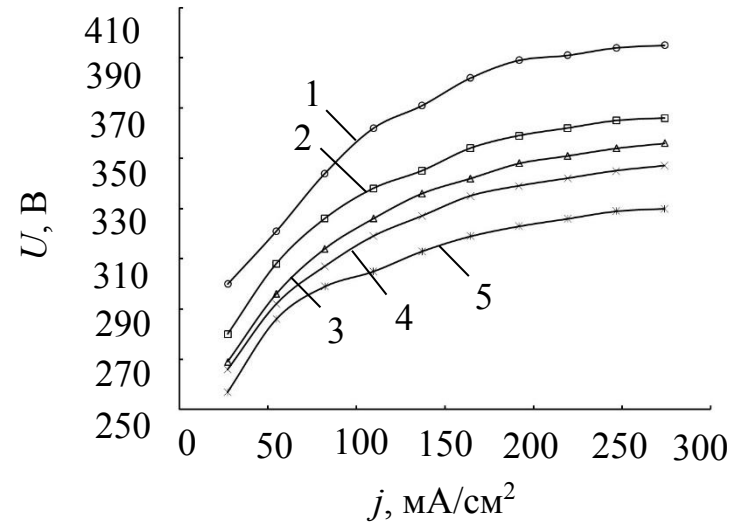


Рисунок 3 – ВАХ разряда магнетрона с титановой холодной мишенью в среде аргона при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-7

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

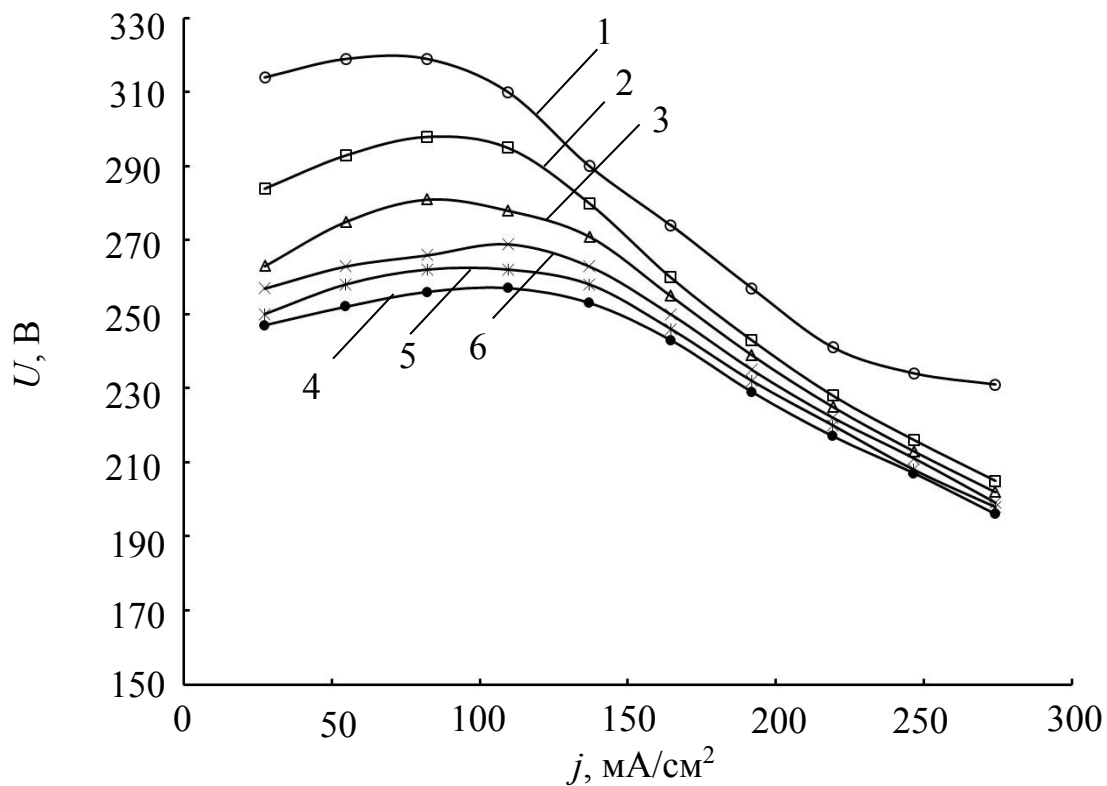


Рисунок 4 – ВАХ разряда магнетрона с титановой сэндвич-мишенью в среде аргона с диаметром отверстий 12 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7

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

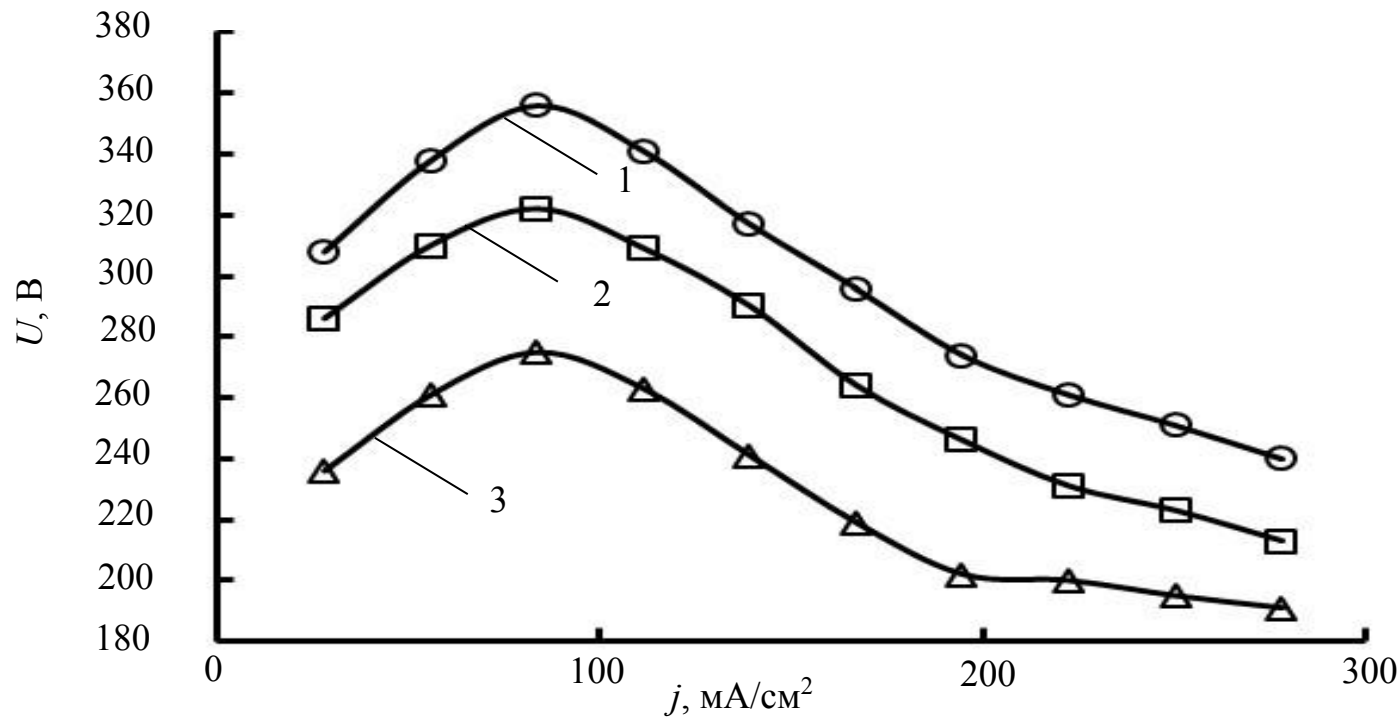


Рисунок 5 – ВАХ разряда магнетрона с титановой сэндвич-мишенью в среде аргона с диаметром отверстий 17 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4

# Разряжение газа как процесс влияющий на ВАХ мишени

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

$$J_{\text{evTi}} = \frac{10 \left( A_{\text{Ti}} - \frac{B_{\text{Ti}}}{T_t} \right)}{\sqrt{2\pi m_{\text{Ti}} k_t}} \quad (2)$$

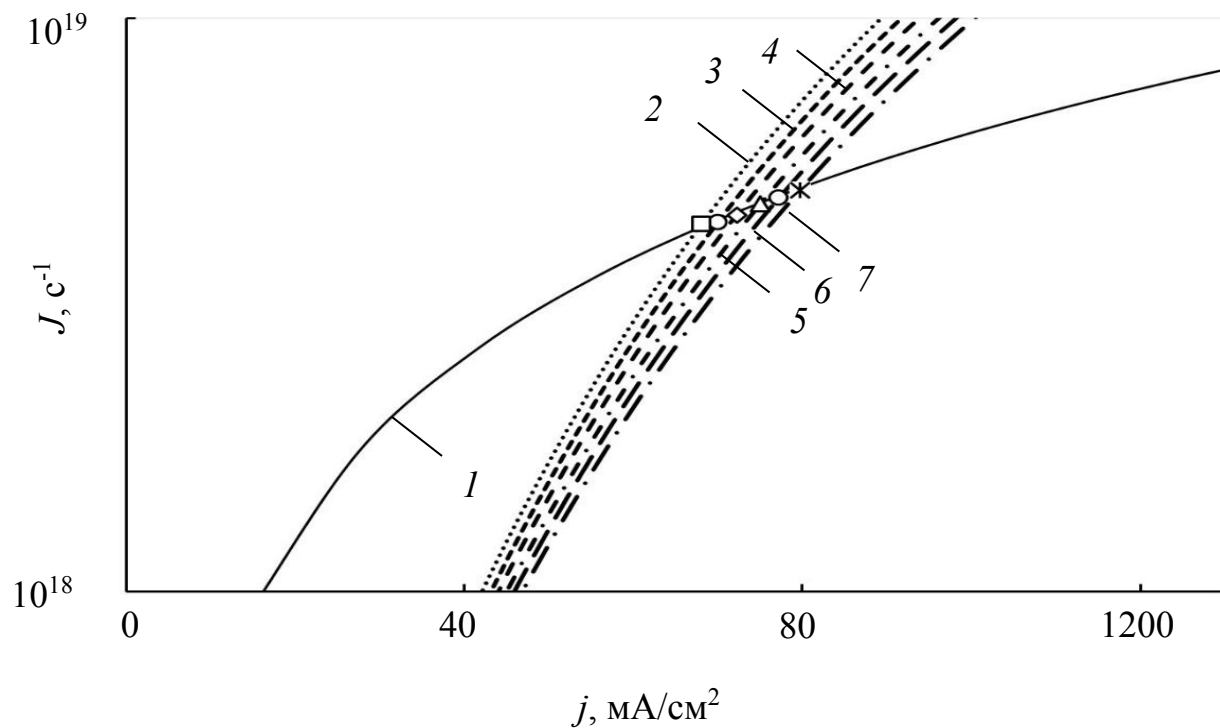


Рисунок 6 – Поток частиц титана при работе магнетрона с горячей мишенью в аргоне:  $J_{\text{sp}}$  (1) и  $J_{\text{ev}}$  (2, 3, 4, 5, 6, 7) (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 6-6; 7-7



$$\delta = \frac{S_{om\epsilon}}{S_t}, \quad (3.3)$$

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

$$J_{Crsp} = j \frac{S_{Cr}}{e(1 + \gamma_{Cr})}, \quad (3.5)$$

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

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

# Температурные зависимости для сэндвич-мишени с диаметром отверстий 12 мм

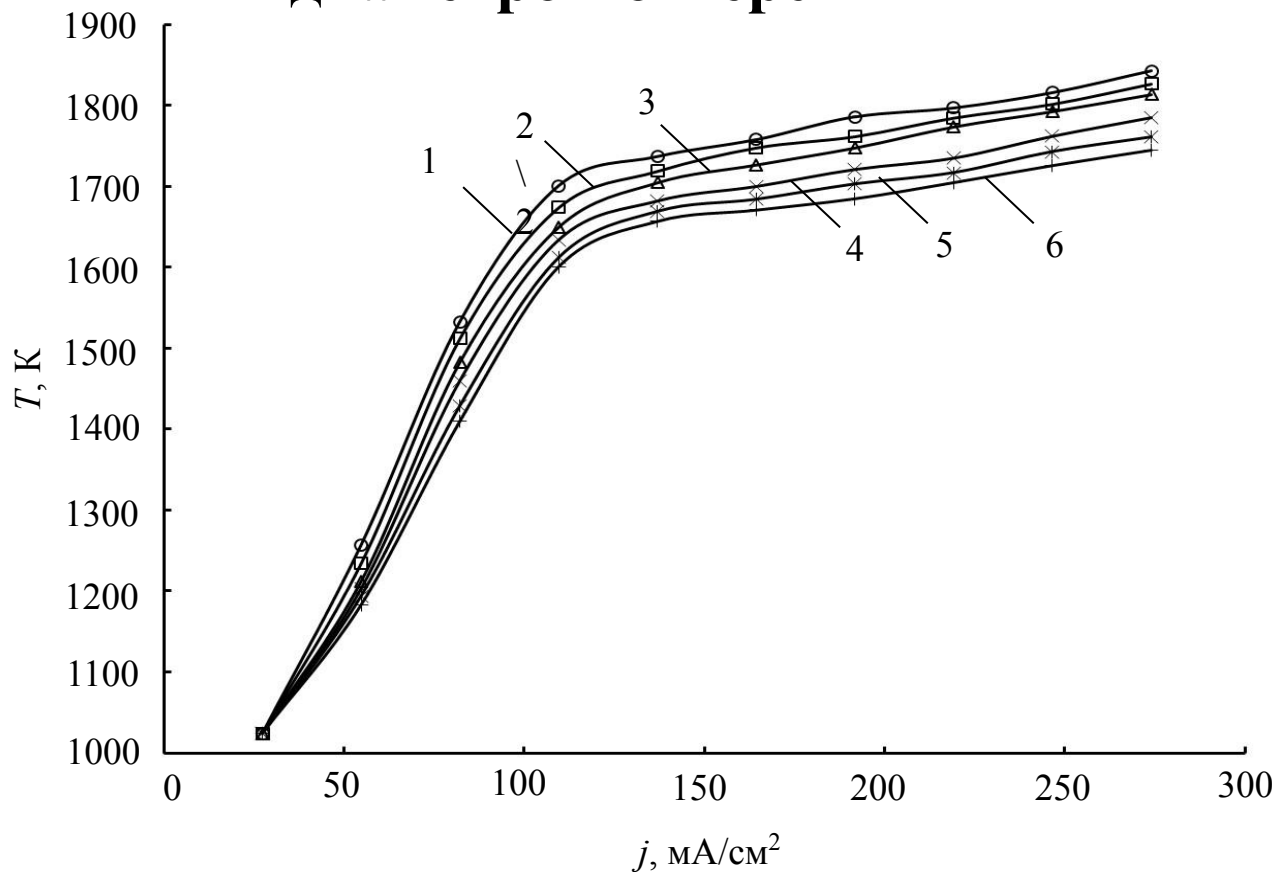


Рисунок 7 – Зависимость температуры от плотности тока для сэндвич-мишени диаметром 12 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 6-7

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

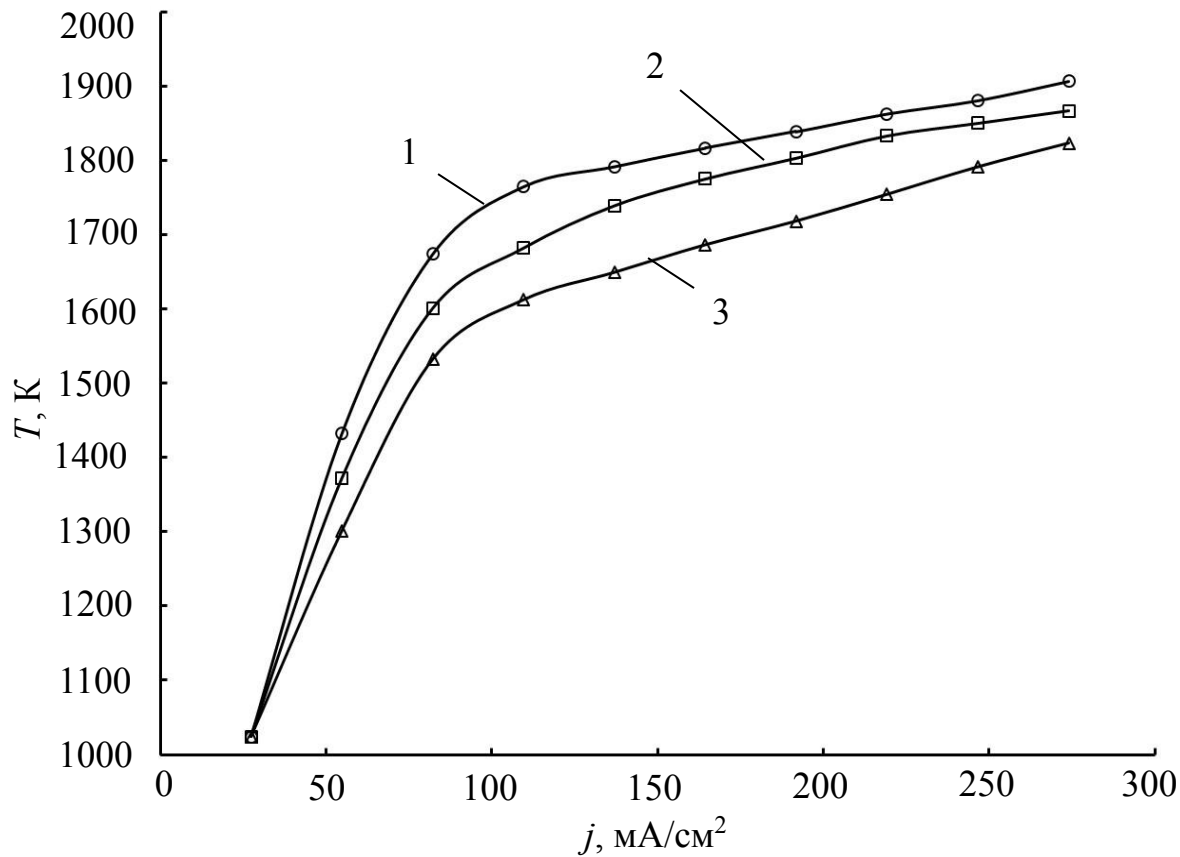


Рисунок 8 – Зависимость температуры от плотности тока для сэндвич-мишени диаметром 17 мм при давлении (мТорр): 1-2; 2-3; 3-4

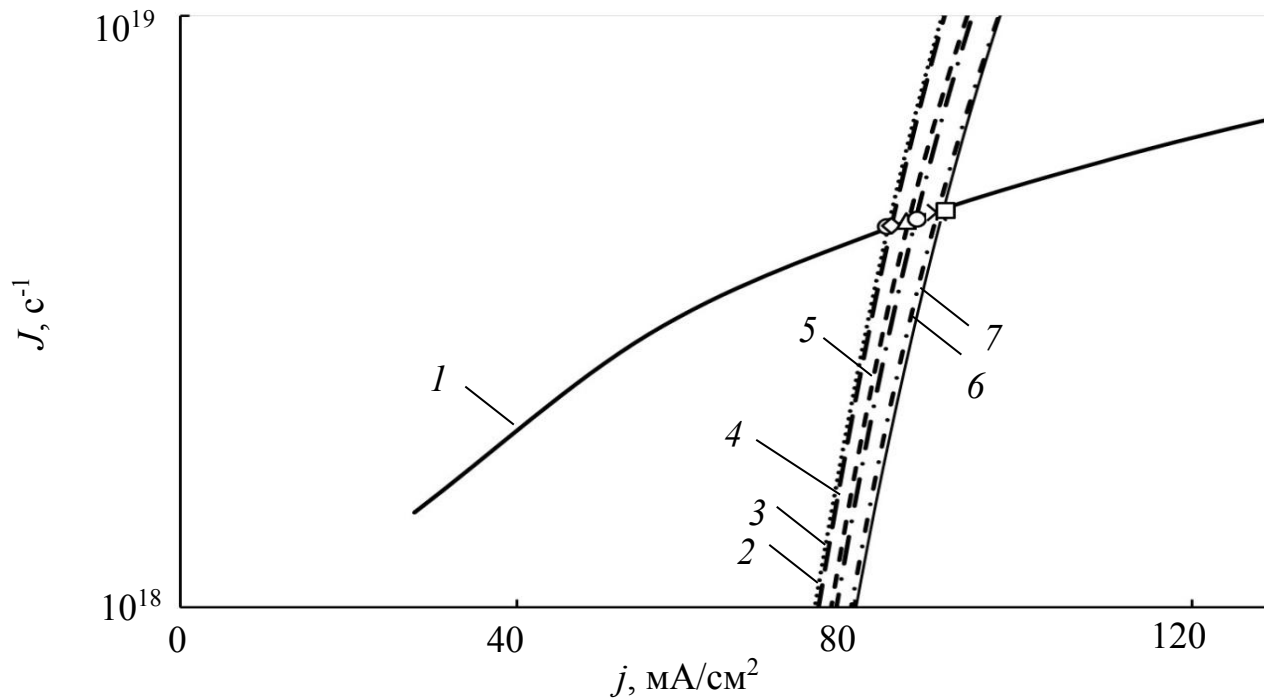


Рисунок 9 – Потоки частиц титана при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 12 мм в аргоне:  $J_{sp}$  (1) и  $J_{ev}$  (2, 3, 4, 5, 6, 7) (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 6-6; 7-7

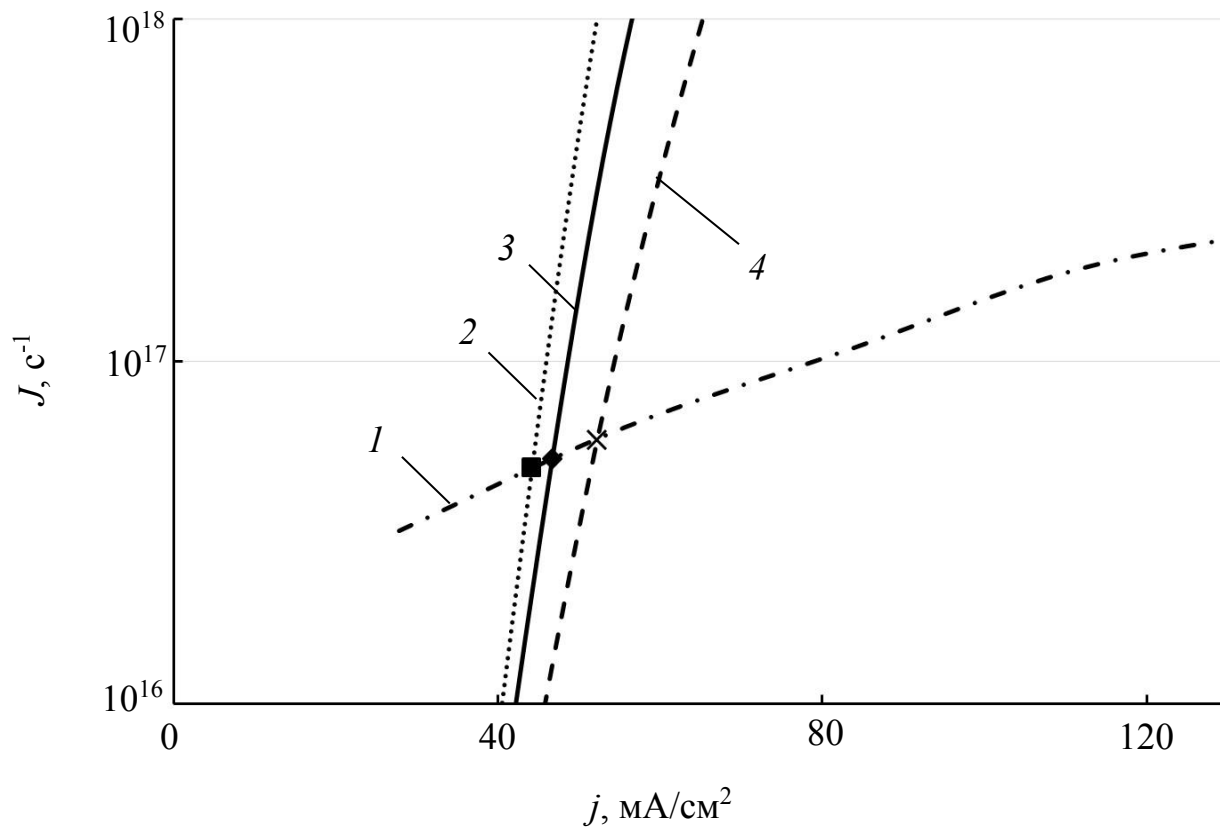


Рисунок 11 – Потоки частиц титана при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 17 мм в аргоне:  $J_{sp}$  (1) и  $J_{ev}$  (2, 3, 4) (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4

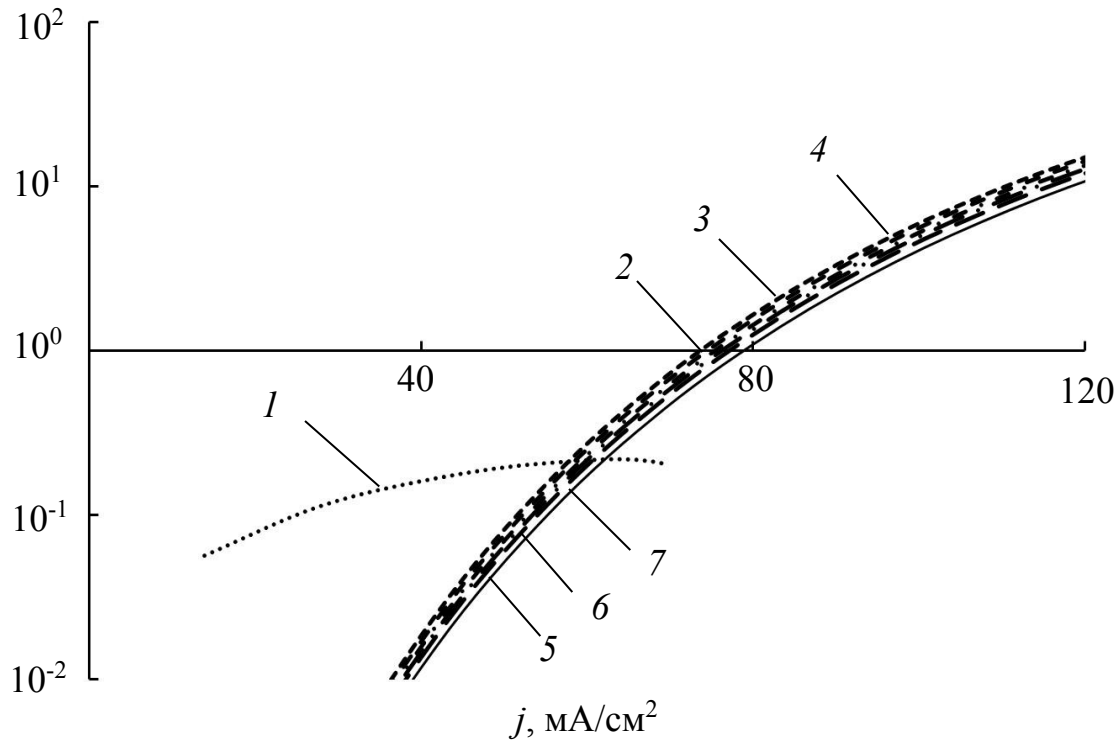


Рисунок 12 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4, 5, 6, 7) и ионно-электронной (1) эмиссии при работе магнетрона с горячей мишенью при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 5-5; 6-6; 7-7

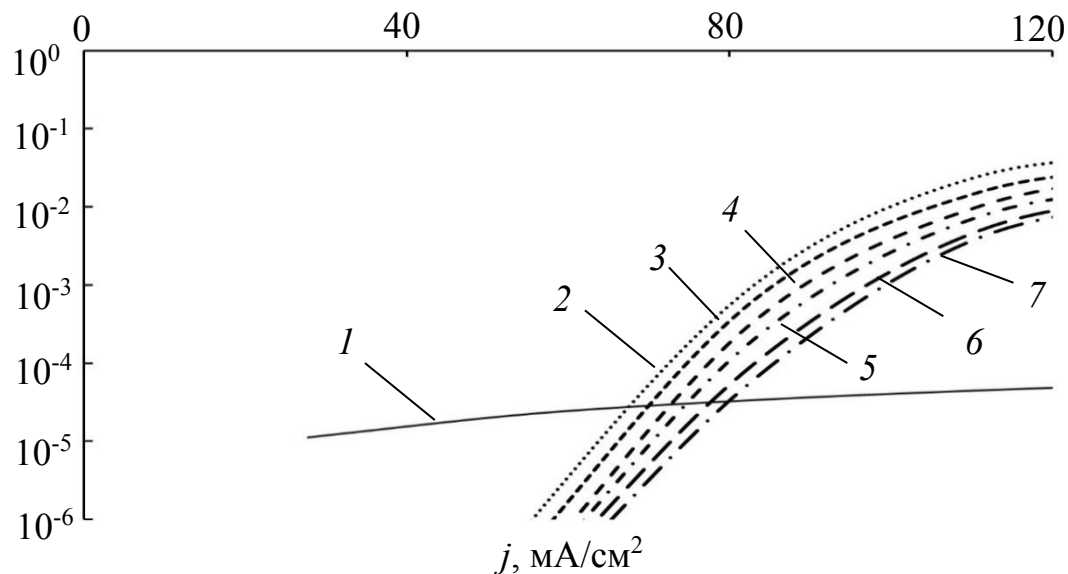


Рисунок 13 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4,5,6,7) и ионно-электронной (1) эмиссии при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 12 мм при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4; 5-5; 5-5; 6-6; 7-7

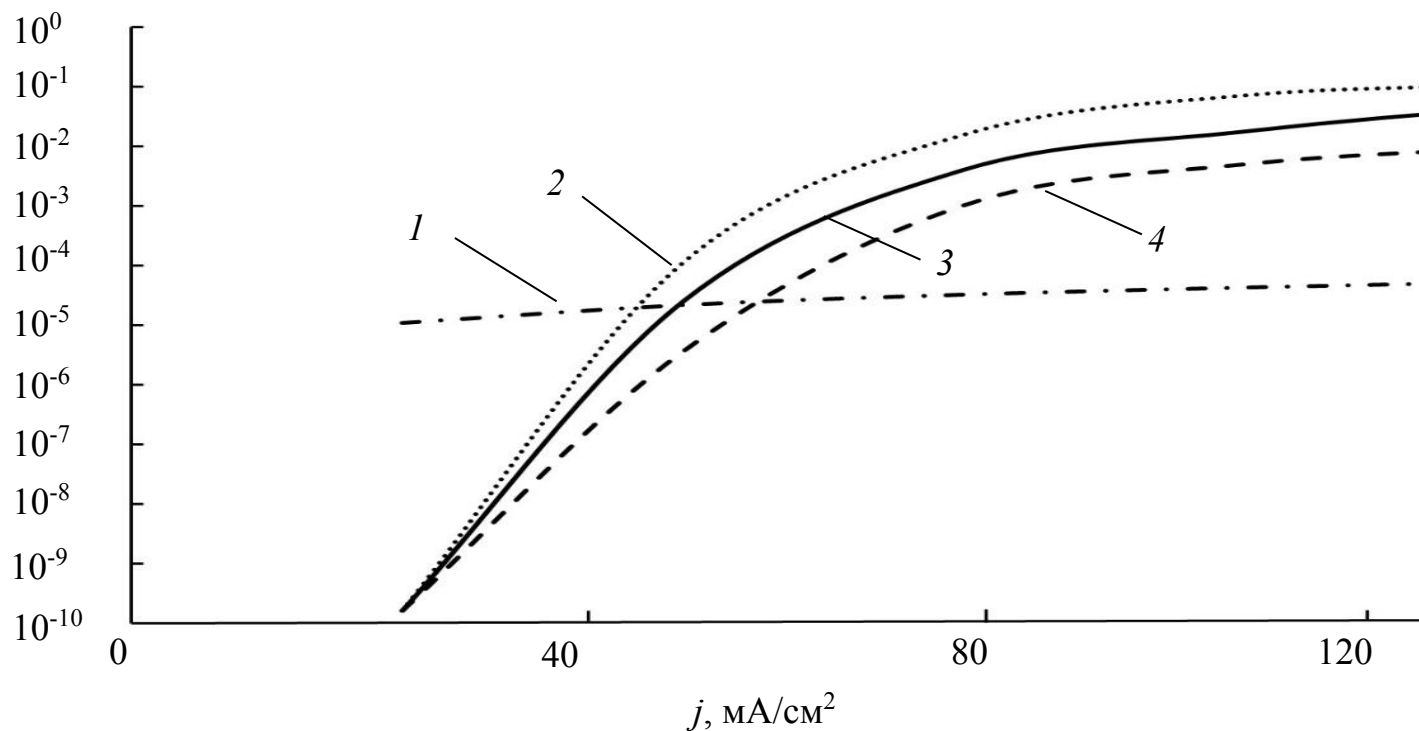


Рисунок 14 – Токи термоэлектронной (2, 3, 4) и ионно-электронной (1) эмиссии при работе магнетрона с сэндвич-мишенью с диаметром отверстий 17 мм при давлении аргона в (мТорр): 2-2; 3-3; 4-4



## 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 бóльшую 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 эмиссия 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!**