



**Павлов Владимир Алексеевич,
Шаповалов В. И., Шестаков Д. С., Рудаков А. В., Шабалин А. Е.**
**Длительность эксперимента при изучении тепловых процессов
на подложке в процессе магнетронного распыления титановой мишени.**

Цель работы:

Целью данной работы является разработка корректной методики сокращения продолжительности измерения кинетики тепловых процессов на подложке.

Актуальность

Для выявления влияния нескольких независимых переменных на кинетику нагрева подложки необходимо выполнить значительное число экспериментов. Поэтому особую важность приобретает продолжительность одиночного эксперимента. Ожидание выхода процесса в стационарный режим может привести к неоправданным потерям времени, которые можно избежать путем сокращения его продолжительности и дальнейшей экстраполяции в область стационарного состояния.

Результаты

На рис. 1 приведены типичные результаты измерения кинетических кривых для титановой мишени. Участки, отражающие процессы нагрева и остывания подложки, с достоверностью 0.998 описывают экспоненты:

$$T_h(I, t) \approx T_0 + T_{\infty}(I) \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_h(I)}\right) \right], \quad T_c(t) \approx T_{\infty}(I) \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right)$$

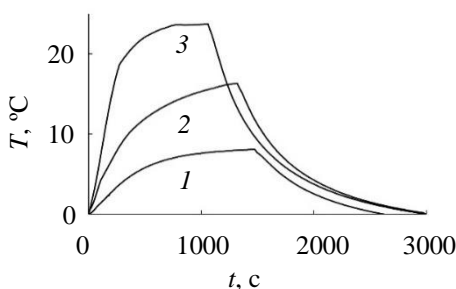


Рис. 1. Кинетические кривые, измеренные сенсором при токе разряда (А): 1 – 2; 2 – 4; 3 – 6

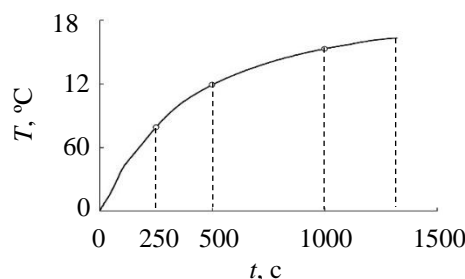


Рис. 2. Кинетические кривые нагрева при токе разряда 4 А и разной продолжительности измерений

Далее проведем анализ экспериментальных результатов, направленный на изучение возможности сокращения продолжительности эксперимента по нагреванию подложки. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры модели (1)

i	$t_i, \text{с}$	$T_{i\infty}, \text{°C}$	$\tau_{ih}, \text{с}$
1	250	148	323
2	500	162	361
3	1000	165	371
full	1400	168	405

По полученным данным можно экстраполировать эксперимент на любой временной промежуток, но для проверки достоверности получаемых данных проведем оценку ошибок, возникших при экстраполяции в область стационарного состояния сравнивая модельные зависимости сокращенных и полного экспериментов. Оценку относительной погрешности $\delta_T(t_i)$ предсказания стационарной температуры определим в виде:

$$\delta_T(t_i) = \frac{|T_{\infty}(t_i) - T_{f\infty}|}{T_{f\infty}}$$

Для рассмотренного эксперимента получена зависимость, по которой удобно выбирать оптимальное время эксперимента:

$$\delta_T(t) \approx 0.163 \exp\left(-\frac{t}{313}\right)$$

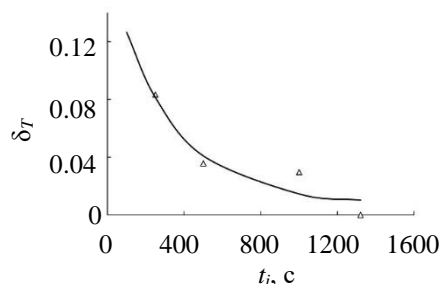


Рис. 4. Влияние длительности интервала наблюдения на относительную погрешность предсказания стационарной температуры δ_T Точки – эксперимент; сплошные линии – аппроксимация