

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА УСТАНОВКАХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Турцевич А.С., Ануфриев Д.Л., Соловьев Я.А.

УП «Завод Транзистор», 220016, ул. Корженевского 16, г. Минск, Беларусь

Температура нагрева подложек является одним из важнейших факторов, влияющих на структуру, электрофизические и механические свойства нанесенных на нее пленок тугоплавких металлов [1]. Механические напряжения в тонких пленках, зависят от температуры подложки во время нанесения пленки, поскольку интегральная величина механических напряжений σ_{Σ} выражается суммой [2]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_T, \quad (1)$$

где σ_1 - внутренние напряжения, обусловленные процессом кристаллизации, σ_T - напряжение, обусловленные различием термических коэффициентов расширения (ТКР) подложки и пленки, величина которых определяется выражением:

$$\sigma_T = (\alpha_F - \alpha_S) \Delta T E, \quad (2)$$

где α_F - ТКР пленки, α_S - ТКР подложки, ΔT - разность температур нанесения пленки и измерения механических напряжений, E - модуль упругости материала пленки.

Таким образом, для нанесения тонкопленочных покрытий с воспроизводимыми свойствами необходимо знать температуру нагрева подложки. Однако при нанесении тонких пленок на установках непрерывного действия существуют определенные методические трудности измерения температуры подложек, связанные с их постоянным движением в высоковакуумной камере относительно источника нагрева.

Целью данной работы является разработка методики контроля температуры нагрева кремниевых подложек при нанесении тонких пленок на установке непрерывного действия «Оратория 29», а также оценка величины механических напряжений в пленках молибдена, обусловленных различием термических ТКР подложки и пленки.

Схема нагрева подложек в установке непрерывного действия представлена на рис. 1.

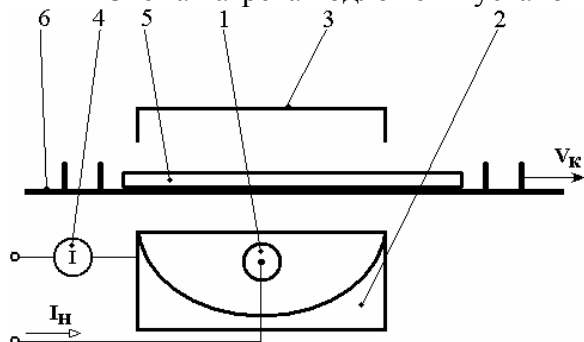


Рис. 1 Схема нагрева подложек в установке непрерывного действия «Оратория 29».

Нагревательное устройство состоит из лампы ИК- нагрева 1, отражателя 2 и экрана 3, ток нагрева I_H измеряется амперметром 4 и поддерживается системой автоматического управления (САУ) технологическими режимами установки. Кремниевая подложка 5 находится на конвейере 6, который поступательно движется с заданной скоростью. Скорость конвейера также поддерживается САУ. Очевидно, что температура нагрева подложки будет зависеть от величины I_H и времени прохождения подложки над нагревателем, определяемого величиной V_K .

Для измерения температуры нагрева кремниевой подложки авторами было предложено использовать термочувствительные пленки testoterm (ф. Testo GmbH, ФРГ), которые позволяют производить температурный контроль с точностью $\pm 3\text{ }^\circ\text{C}$ в пределах $70 - 280\text{ }^\circ\text{C}$. После проведения серии измерений, в которых варьировались I_H и V_K , была построена зависимость температуры подложек от тока нагрева при различной скорости конвейера, представленная на рис. 2.

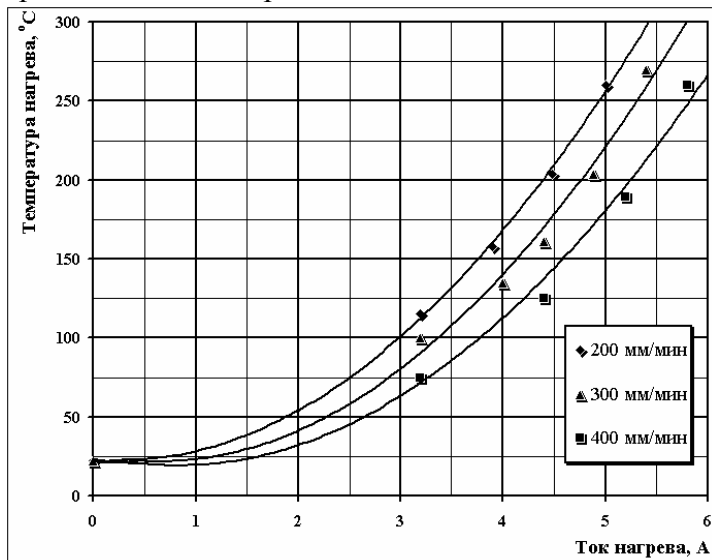


Рис. 2. Экспериментальные зависимости температуры нагрева подложки от I_H и V_K .

Как видно из рис. 2, при постоянной скорости конвейера температура подложки пропорциональна квадрату тока нагрева (сплошные линии на рис. 2), что находится в соответствии с законом Джоуля - Ленца для количества тепла, выделяемого нагревателем. В предположении, что температура подложки находится в обратной пропорциональной зависимости от скорости конвейера на базе рис. 2 была построена более удобная в использовании зависимость (рис. 3).

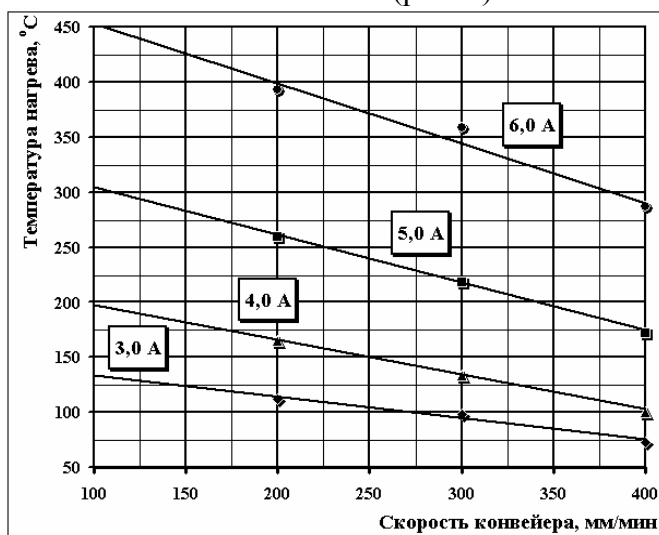


Рис. 3. Зависимость температуры нагрева от V_K при различных величинах I_H .

На рис. 4 представлена зависимость интегральных механических напряжений в пленках молибдена, от мощности магнетронного разряда, полученных при различном токе нагрева.

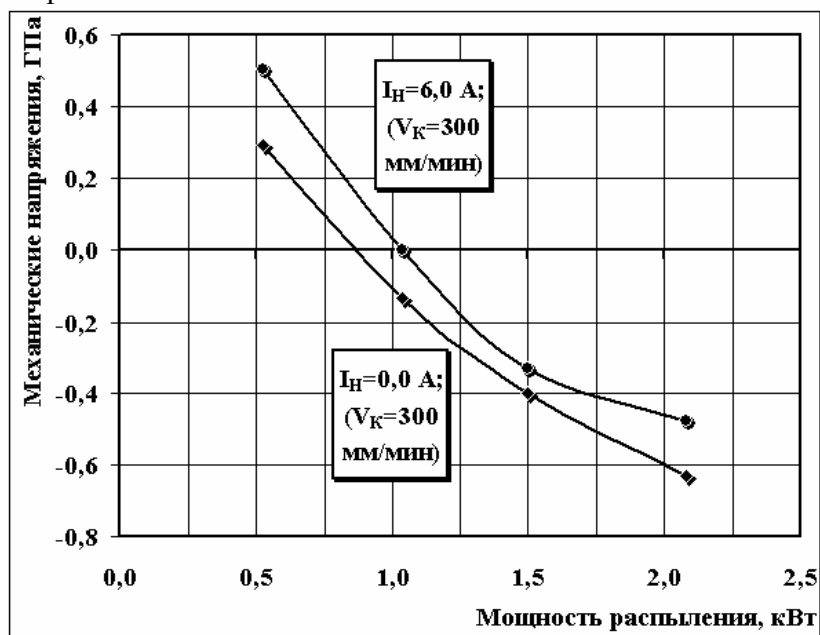


Рис. 4 Механические напряжения в тонких пленках молибдена, нанесенных при различных температурах нагрева и мощности распыления.

Как видно из рис. 4, разность величины механических напряжений для молибденовых пленок нанесенных с нагревом составляет 100 – 200 МПа. Из рис. 3 определяем, что току нагрева 6,0 А при скорости конвейера 300 мм/мин соответствует температура подложки 340 °С. Если принять ТКР молибдена $5,3 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$, ТКР кремния $2,6 \times 10^6 \text{ K}^{-1}$, а модуль упругости молибдена 294 ГПа [3], то для полученной разности температур величина σ_T в соответствии с (2) составит порядка 170 МПа, что находится в хорошем качественном соответствии с результатами эксперимента.

Таким образом, разработана методика определения температуры подложек в установках непрерывного действия. Сравнение величины механических напряжений, обусловленных разность ТКР материалов пленки и подложки, рассчитанных благодаря предложенной методике находятся в хорошем качественном соответствии с экспериментом.

Список литературы

1. Ануфриев Л.П., Турцевич А.С., Глухманчук В.В., Соловьев Я.А., Мильчанин О.В. Вакуумная техника и технология.. 14, 1, 35 (2004).
2. Технология СБИС: в 2-х кн. Кн. 2. Пер. с англ./ Под ред. С. Зи. М, Мир (1986). 453 с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. СПб, Лань (2001). 368 с.