

**Термическое поведение серебряносодержащей пасты при нагреве в аргоне и на воздухе**

**Черноярова Анна Олеговна**

*Выпускник (специалист)*

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Институт физики и химии,  
Саранск, Россия

*E-mail: kostryukov\_sg@mail.ru*

Для силовой электроники актуальны материалы, способные работать при экстремальных температурах. Пасты на основе нано- и ультрадисперсного серебра (синтер-пасты) обладают высокой электропроводностью и спекаются при 250–400 °С, а после спекания их температура плавления возрастает до 962 °С, что позволяет эксплуатировать изделия при высоких температурах [1, 2]. Критически важным является полное удаление органических компонентов (диспергаторов, растворителей) для формирования плотного спечённого слоя [3]. Цель работы – изучение тепловых эффектов при нагреве серебряносодержащей пасты фиксированного состава в различных атмосферах (аргон, воздух, комбинированный режим) методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ). Использовали пасту на основе ультрадисперсного Ag, миристиновой кислоты и нананола-1. Эксперименты выполнены на синхронном термоанализаторе NETZSCH STA 409 (скорость 10 К/мин, 30–450 °С) в трёх режимах: в аргоне, на воздухе, а также нагрев в аргоне до 380 °С с последующей сменой атмосферы на воздух. Результаты представлены на рис. 1. При нагреве на воздухе (кривая 1) наблюдаются два экзотермических пика с максимумами 212,9 и 222,7 °С (до 2,44 мВт/мг), соответствующие выгоранию органики. При нагреве в аргоне (кривая 2) наблюдается эндотермический дрейф (30–150 °С) за счёт испарения нананола-1 и плавления кислоты, затем пологий экзотермический сигнал (170–300 °С, максимум ~0,134 мВт/мг), обусловленный этерификацией и началом спекания частиц Ag, при замене аргона на воздух при 380 °С возникает узкий мощный экзотермический пик (1,90 мВт/мг при 384,25 °С) за счёт окисления остаточных органических соединений, сконцентрированных в порах серебряного порошка. Этот эффект может усиливаться за счёт спекания частиц [4]. При нагреве в аргоне (кривая 3) наблюдается эндотермический дрейф (30–150 °С), затем пологий экзотермический сигнал (175–420 °С). Таким образом, наиболее информативен комбинированный режим (кривая 2), при котором после нагрева в аргоне осуществили смены атмосферы на воздух. Полученные результаты позволяют оптимизировать температурные профили спекания серебряных паст, в частности выбрать температуру выдержки на воздухе для полного удаления органических остатков.

\*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (код научной темы FZRS-2025-0002) в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва».\*

**Источники и литература**

- 1) 1. Chen C., Suganuma K. Microstructure and mechanical properties of sintered Ag particles with flake and spherical shape from nano to micro size // Mater. Des. 2019. Vol. 162. P. 311–321. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.11.062.
- 2) 2. Ницев К.Н., Новопольцев М.И., Кострюков С.Г., Пынинков А.А., Моисеев Н.В. Серебряносодержащая паста для низкотемпературного соединения элементов конструкции силовых полупроводниковых приборов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2025. № 4 (76). С. 120-134. DOI 10.21685/2072-3040-2025-4-10.

- 3) 3. Sopoušek J., Bursík J., Zálešák J., Pešina Z. Silver nanoparticles sintering at low temperature on a copper substrate: In situ characterization under inert atmosphere and air // J. Min. Metall. Sect. B Metall. 2012. Vol. 48, № 1. P. 63–71. DOI: 10.2298/JMMB110718007S.
- 4) 4. Ruiz Calata J.A. Control of nanosilver sintering attained through organic binder burnout // J. Mater. Res. 2007. Vol. 22, No. 11. P. 3055–3062. DOI: 10.1557/JMR.2007.0440.
- 5) 5. Shih C.J., Shih S.J., Lin H.C., Yeh H.H., Hung Y.C. Thermal-decomposition and crystallization behaviour of coupling agents for silver paste application // Nanotechnology. 2003. Vol. 14. P. 1014–1018. DOI: 10.1088/0957-4484/14/9/315.

### Иллюстрации

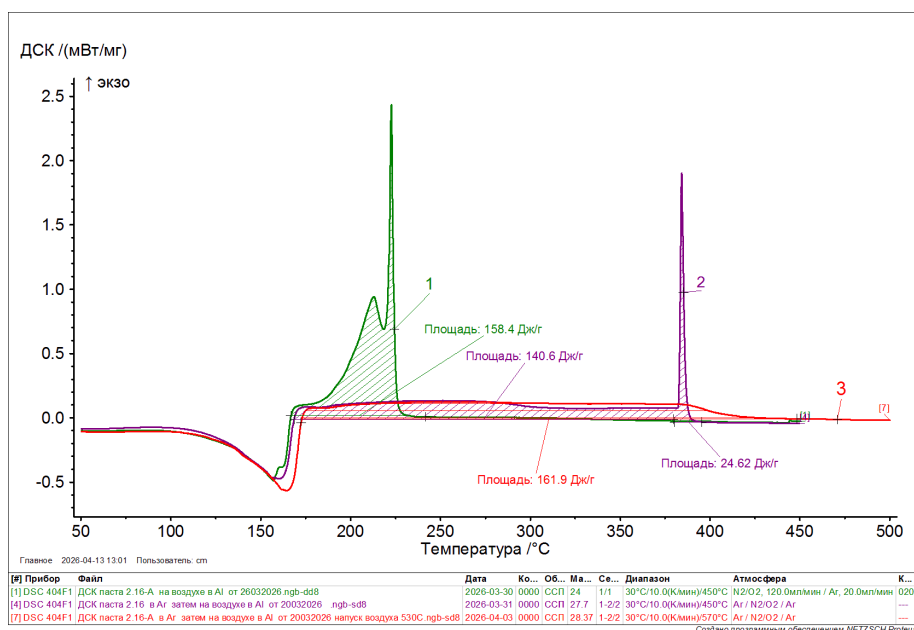


Рис. : Рис. 1. Результаты ТГ и ДСК серебросодержащей пасты при нагреве в трёх режимах: кривая 1 – на воздухе, кривая 2 – в аргоне, а затем на воздухе, кривая 3 – в аргоне