

**УДК 666.3.017****ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ LTCC**

Хохлун Святослав Андреевич<sup>(1)</sup>

*Студент 1 курса магистратуры<sup>(1)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

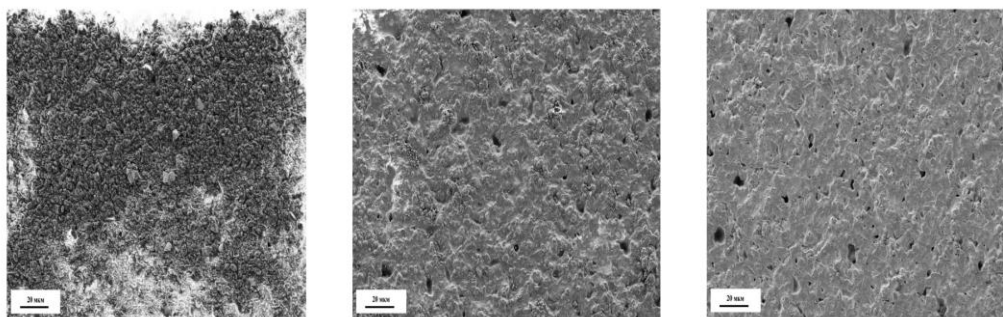
*Научный руководитель: С.В. Сидорова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»*

LTCC (Low-Temperature Co-fired Ceramic) широко применяется в производстве многослойных электронных модулей, сочетающих в себе высокие диэлектрические характеристики, термостойкость и механическую прочность. Однако эффективность таких структур во многом определяется качеством подготовки их поверхности, особенно в контексте тонкопленочных технологий и микрофлюидики. Для формирования надежных тонкопленочных покрытий, используемых в датчиках, антеннах и пассивных элементах, необходимо обеспечить низкую шероховатость, высокую адгезию и контролируемую морфологию поверхности.

В микрофлюидных устройствах равномерность и гидрофильность поверхности LTCC оказывают критическое влияние на точность управления потоками жидкостей. Оптимизация процессов механической и плазменной обработки LTCC подложек позволяет значительно улучшить характеристики конечных изделий, что делает исследования в данной области актуальными для развития микроэлектроники, биомедицинских сенсоров и аналитических многослойных систем [1–8].

Целью работы является исследование зависимостей физических и геометрических параметров поверхности низкотемпературной керамики от режимов ионно-плазменной обработки.

При рассмотрении и отработке режимов производственной технологии были получены данные предварительной оценки влияния плазменных методов обработки поверхности низкотемпературной керамики (рисунок). Проведена серия экспериментов по плазменному и ионному травлению уже спеченных стеков LTCC. Интерес представляет оценка и исследование влияния энергетических параметров методов обработки на гидрофильность и шероховатость поверхности керамики. Следует отметить, что данные параметры, характеризующие качество поверхности, имеют связь и между собой.



а

б

в

*Снимки СЭМ поверхности LTCC: а – до спекания, б – после спекания, в – после плазменной обработки спеченной керамики*

Плазменная обработка подготовленных образцов LTCC проводилась на установке плазмо-химического травления TRION SIRUS T2, ионная обработка – на малогабаритной вакуумной установке модульного типа МВТУ-11-1МС. Указанное технологическое оборудование расположено на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Оценку угла смачивания проводили с помощью гониометра ЛК-2. Шероховатость образцов до и после обработок измеряли с помощью профилометра TR220.

Был поставлен и проведен полный факторный эксперимент. Получены регрессионные зависимости, описывающие изменение краевого угла смачивания керамики и ее шероховатости при варьировании режимов плазменной и ионной обработок. Результаты исследования помогут с подбором режимов обработки LTCC с применением вакуумных технологий, что может оказать влияние на применение данного материала в области формирования тонких пленок или создании устройств микрофлюидики.

В дальнейшем планируется экспериментальная оценка адгезионных свойств керамики и нанесенных на ее поверхность тонкопленочных покрытий после ионно-плазменной обработки.

### **Литература**

1. *Pomeroy M.* (ed.). Encyclopedia of materials: technical ceramics and glasses. Elsevier. 2021. 2674 p.
2. *Belavic D. et al.* Design of LTCC-based Ceramic Structure for Chemical Microreactor // Radioengineering. 2012. Т. 21. №. 1. pp. 195-200.
3. *Santo Zarnik, M., Belavič, D. and Maček, S.* Design study for a capacitive ceramic pressure sensor // Microelectronics International, 2021. Vol. 28 No. 3, pp. 31-35.
4. *Черных В., Чигиринский С.* Направления развития изделий из специальной керамики для производства электронной техники в России // Технологии электронной промышленности. 2012. №4. С. 176-182.
5. *Чигиринский С.* Особенности и преимущества производства многослойных структур на основе керамики (LTCC, HTCC, MLCC) // Компоненты и технологии. 2009. №11. С. 130-131.
6. *King A.G.* Ceramic technology and processing. William Andrew Publishing. 2002. 512 p.
7. *Lahti, M., Kautio, K., Karppinen, M., Ollila, J., Keränen, K., Karioja, P.* Review of LTCC Technology for Millimeter Waves and Photonics // International Journal of Electronics and Telecommunications. 2020. Vol. 66, No. 2. pp. 361–367.
8. *Vasudev, A., Kaushik, A., Jones, K., Bhansali, S.* Prospects of low temperature co-fired ceramic (LTCC) based microfluidic systems for point-of-care biosensing and environmental sensing // Microfluid Nanofluid. 2013. Vol. 14. pp. 683–702.