

Формирование микролинз на оптическом стекле с помощью электронно-лучевой обработки

А.А. Атаманчук¹, С.П. Авдеев¹

¹ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», 344006, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

В настоящее время разработано множество методов изготовления микрооптических структур и компонентов. Среди популярных подходов можно выделить оплавление, горячее прессование, струйную печать, жидкостное и сухое травление, двухфотонную полимеризацию, микромеханическую резку [1–3]. Большая часть известных подходов изготовления микрооптических структур нацелена на изготовление микролинз и массивов микролинз преимущественно из полимерных материалов, например полидиметилсилоксан. Однако, изготовление из не-полимерных материалов является важной областью в микрооптике космической и лазерной техники.

Не-полимерные материалы представляют из себя как традиционные для оптики вещества, так и более перспективные. К традиционным в первую очередь относятся различного состава и структуры стекла: кроны, флинты, кварц, кремний и германий (оптика инфракрасного излучения), алмаз (оптика рентгеновского излучения) и др. Среди перспективных материалов выделяются различного рода керамические соединения: карбид кремния, лейкосапфиры и др. Необходимость в использовании не-полимерных материалов обусловлена особыми требованиями, предъявляемыми к оптическим изделиям, изготавливаемым из них. В тех приложениях, где необходима стойкость к внешним факторам и стабильная работа в агрессивных средах, например в гомогенизаторах лазерного излучения, работающих в условиях высоко интенсивных потоков излучения, кристаллические оптические материалы имеют решающее преимущество перед полимерными матрицами.

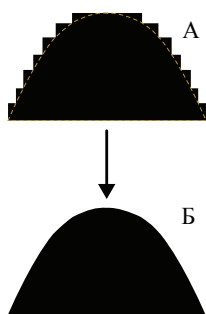


Рис. 1. Оплавление ступенчатой структуры линзы А в результате электронно-лучевой обработки с целью формирования линзы Б.

Химическая и механическая стойкости кристаллических оптических материалов вызывают трудности в их обработке и обуславливают специфику методов изготовления изделий из них. К основным методам производства можно отнести жидкостное и сухое травление, микромеханическое резание и лазерную

обработку (абляцию) [3–5]. В зависимости от выбранного метода изготовления микролинз их поверхность нуждается в последующей полировке для удаления дефектов, внесённых в процессе изготовления. К тому же для изготовления асферических микролинз методом лазерной абляции или жидкостного/сухого травления форму линз необходимо приближать с помощью ступенчатого профиля (рис. 1), который после его формирования необходимо сгладить для достижения требуемого качества поверхности. Как правило, за надлежащее качество поверхности считают поверхность с шероховатостью $Ra \leq \lambda/20$, где λ — длина волны излучения [6]. Одним из возможных подходов как для улучшения качества поверхности, так и для профилирования поверхности является электронно-лучевая обработка (ЭЛО).

ЭЛО заключается в локальном тепловом поверхностном воздействии на стеклянные микролинзы. В зависимости от мощности облучения электронами ЭЛО может привести как к сокращению шероховатости поверхности, устранению/залечиванию дефектов, так и к более крупномасштабным изменениям, например к профилированию поверхности (рис. 1) за счёт сил тяжести и поверхностного натяжения.

Текущая работа направлена на моделирование процесса оплавления ступенчатых структур при ЭЛО на оптическом стекле и формирования таким образом заданного профиля микролинзы.

1. Fabrication of Microlens Array and Its Application: A Review / W. Yuan [и др.] // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2018. Дек. Т. 31, № 1. ISSN 1000-9345, 2192-8258. DOI: 10.1186/s10033-018-0204-y.
2. Fabrication, Characterization, and Applications of Microlenses / T. Hou [и др.] // Applied Optics. 2015. 20 авг. Т. 54, № 24. С. 7366. ISSN 0003-6935, 1539-4522. DOI: 10.1364/ao.54.007366.
3. Microlenses Arrays: Fabrication, Materials, and Applications / S. Cai [и др.] // Microscopy Research and Technique. 2021. Ноябрь. Т. 84, № 11. С. 2784–2806. ISSN 1059-910X, 1097-0029. DOI: 10.1002/jemt.23818.
4. Stepped Confocal Microlens Array Fabricated by Femtosecond Laser / J. Wu [и др.] // Photonics. 2025. 16 мая. Т. 12, № 5. ISSN 2304-6732. DOI: 10.3390/photonics12050494.
5. Xu R., Zhou T., Cheung R. Fabrication of SiC Concave Microlens Array Mold Based on Microspheres Self-Assembly // Microelectronic Engineering. 2021. 15 февр. Т. 236. С. 111481. ISSN 0167-9317. DOI: 10.1016/j.mee.2020.111481.
6. Photopolymer Resins from Sulfenyl Chloride Commodity Chemicals for Plastic Optics, Photopatterning and 3D-Printing / C. Olikagu [и др.] // Advanced Materials. 2025. Т. 37, № 14. С. 2418149. ISSN 1521-4095. DOI: 10.1002/adma.202418149.