

ოპტიკურ ლინზებზე გასხივოსნების
შრებების გამოყენების მიმოხილვა

ზ. ვ. ბერიშვილი, ი. ი. კორძაია, დ. გ. ზარდიაშვილი,
ი. მ. ავალიანი, გ. გ. დეკანოზიშვილი

სსიპ ინსტიტუტი “ოპტიკა”
თბილისი, საქართველო
zaurberi7@yahoo.com

მიღებულია 2016 წლის 7 ოქტომბერს

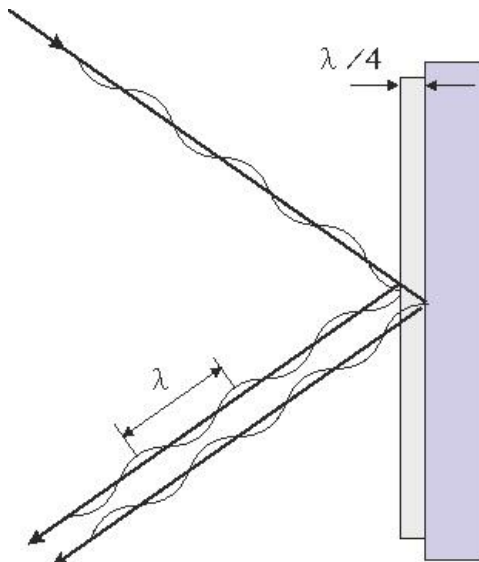
ანოტაცია

დღეს ოპტიკური ლინზები გასხივოსნების შრეებით ფართოდაა წარმოდგენილი ყველა ოპტიკური სალონის ასორტიმენტში. აღნიშნული დანაფარები საგრძნობლად აუმჯობესებს ოპტიკური ხელსაწყოების ხარისხს და, შესაბამისად, ზრდის მომხმარებლის კომფორტულობას. წარმოდგენილ სამუშაოში აღწერილია ოპტიკურ ლინზებზე გასხივოსნების შრეების მოქმედების საფუძვლები. ის ეძღვნება ოპტიკურ ლინზებზე გასხივოსნების შრეების გამოყენების მიმოხილვას და მისი რეალიზების პერსპექტივებს. კონკრეტულად, წარმოდგენილია ოპტიკურ ხელსაწყოებზე გასხივოსნების შრეების გამოყენების განსხვავებული ტიპების აღწერა და მრავალშრიანი გასხივოსნების დანაფარების სტრუქტურა. აგრეთვე, მოყვანილია ლინზაზე დამაკავშირებელი და განმამტკიცებელი (ზრდიან ცვეთაგამძლეობას), მრავალშრიანი გასხივოსნების (იხსნება ხელშემშლელი ანარეკლები) და ჰიდროფობური (იცავს გასხივოსნების შრეებს და აადვილებს მის მოვლას) დანაფარების მიღების ტექნოლოგიების ზოგადი განხილვა.

ოპტიკურ ლინზაში სინათლის სხივის ნაკადის გავლისას ხდება მისი ნაწილობრივ შთანთქმა და არეკვლა. სინათლის ნაკადის არეკვლა ხდება სხვადასხვა გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე ორ ოპტიკურად გამჭვირვალე გარემოს (ლინზის მასალა და ატმოსფერო) გამყოფ ზედაპირზე. სინათლის სხივი ირეკლება ლინზის როგორც წინა, ისე უკანა ზედაპირებიდან, რაც იწვევს თვალში მოხვედრილი საგნის გამოსახულების ხარისხის გაუარესებას. ამ პრობლემის გადასაჭრელად თანამედროვე ოპტიკაში იყენებენ ე.წ. გასხივოსნების დანაფარებს.

ოპტიკურ ლინზებზე გასხივოსნების შრეების მოქმედების საფუძველს წარმოადგენს სინათლის ტალღის ინტერფერენცია. დანაფარების სტრუქტურა, ანუ მისი ცალკეული ფენების სისქეები და გარდატეხის მაჩვენებლები შერჩეულია ისე, რომ, ჰაერი-დანაფარი და დანაფარი-ლინზა ზედაპირებიდან არეკლილ სინათლის ტალღების სვლათა სხვაობა იყოს ტალღის სიგრძის ნახევარი. გარდა ამისა, ამ ტალღების ამპლიტუდა და ტალღის სიგრძეები უნდა იყოს იდენტური. ამ შემთხვევაში, ხდება ანარეკლი ტალღების ინტერფერენცია და ისინი აქრობენ ერთმანეთს (სურათი 1), რაც ზრდის ლინზის შუქგამტარობას. ჩვენს მიერ გასხივოსნების შრეების მასალად არჩეული

იქნა სილიციუმის ორჟანგი (SiO_2 , $n = 1.45$) და ცირკონიუმის ორჟანგი (ZrO_2 , $n = 1.98$). შემუშავებულია გასხივოსნების შრეების მიღების ტექნოლოგიები და დამზადებულია, პოლიმერული მასალის ლინზების ლაბორატორიული ნიმუშები ორივე მხარეზე დაფენილი გასხივოსნების (ანტირეფლექტური) შრეებით.



სურათი 1. ერთშრიანი გასხივოსნების მქონე ლინზის ზედაპირიდან არეკლილი ორი სინათლის სხივის ტალღის ინტერფერენცია, ურთიერთჩაქრობა.

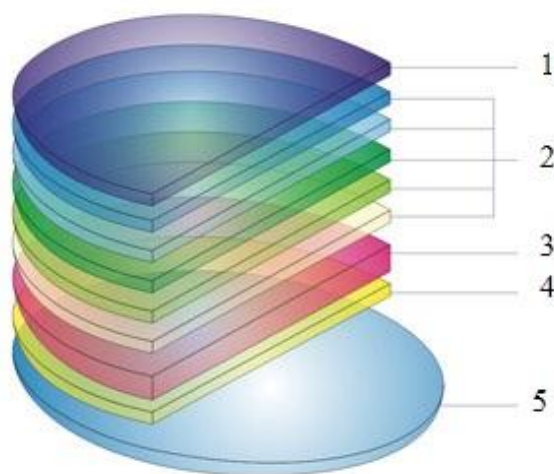
ლინზის ზედაპირიდან ანარეკლის შესამცირებლად გამოიყენება ერთ- და მრავალშრიანი გასხივოსნება. ერთშრიანი გასხივოსნების დროს სინათლის სხივის ანარეკლს ამცირებენ მხოლოდ სხივის ხილული დიაპაზონის ერთ შეზღუდულ ნაწილში. როდესაც ლინზაზე დაფენილი გასხივოსნება შედგება ორი, დაბალი და მაღალი გარდატეხის მაჩვენებლების მქონე შრეებისაგან, ანარეკლის შემცირება ხდება სპექტრის საკმაოდ ვიწრო დიაპაზონში. სინათლის სხივის ხილულ არეში გასხივოსნების მაღალი ეფექტის მისაღებად გამოიყენება მრავალშრიანი (3, 5, 7 და მეტი ფენა) გასხივოსნება, რაც საშუალებას იძლევა არეკვლა 10 – 15 %-დან შემცირდეს 1 %-მდე ან უფრო მეტად.

მრავალშრიანი ანტირეფლექტიური გასხივოსნება სხვადასხვა ოპტიკურ ხელსაწყოების ლინზებზე საგრძნობლად ზრდის მათ შუქგამტარებლობას. იმისათვის, რომ შევამციროთ გაბნეული და არეკლილი სინათლის სხივის რაოდენობა ოპტიკური ელემენტების ზედაპირიდან დურბინების, ჭოგრიტების ტელესკოპების, მიკროსკოპების, სამიზნეების და სხვა კონსტრუქციის ოპტიკურ ხელსაწყოებში, ლინზების და პრიზმების ზედაპირზე აფენენ სპეციალურ შრეებს, კერძოდ, გასხივოსნების (ანტირეფლექტიურ) შრეებს. აღნიშნული მაღალი ხარისხის ხელსაწყოების ოპტიკურ ელემენტებზე აუცილებლად უნდა იყოს მრავალშრიანი ანტირეფლექტიური შრეები და არამარტო გარე ელემენტებზე, არამედ – ყველა ოპტიკურ ლინზაზე და პრიზმაზე. მაღალი ხარისხის ანტირეფლექტურ შრეებს შესწევთ შუქგამტარობის კორექტირების უნარი, იზრდება გამოსახულების სიკაშკაშე და კონტრასტულობა, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ობიექტზე დაკვირვებისას სუსტი განათების პირობებში.

- ოპტიკურ ხელსაწყოებზე განასხვავებენ შემდეგი ტიპის გასხივოსნების შრეებს [1]:
ერთშრიანი გასხივოსნება. გასხივოსნების შრე დაფენილია მხოლოდ გარე ლინზების გარე ზედაპირზე (Coated, C);
- მთლიანი ერთშრიანი გასხივოსნება. გასხივოსნების ერთი შრე დაფენილია ყველა ოპტიკურ ზედაპირზე (Fully Coated, FC);
- მრავალშრიანი გასხივოსნება. მრავალშრიანი გასხივოსნება დაფენილია მხოლოდ ცალკეულ ზედაპირებზე, დანარჩენებზე დაფენილია გასხივოსნების ერთ შრე (Multi-Coated, MC);
- მთლიანი მრავალშრიანი გასხივოსნება. ყველა ოპტიკურ ზედაპირზე დაფენილია მრავალშრიანი გასხივოსნება (Fully Multi-Coated, FMC).

დღეს ოპტიკური ხელსაწყოების მწარმოებელი ფირმები ოპტიკურ ელემენტებზე გასხივოსნების ფენების მისაღებად იყენებენ სხვადასხვა ტექნოლოგიურ მეთოდს. ბევრი მათგანი დაპატენტებულია. მიუხედავად ამისა, არ არსებობს საერთო კრიტერიუმები გასხივოსნების დანაფარების ხარისხის შედარებისთვის, გარდა სინათლის სხივის გატარების კოეფიციენტის დადგენისა.

ხშირ შემთხვევაში მინის და ორგანული მინის ლინზებზე გასხივოსნების (ანტირეფლექტიურ) შრეებს ღებულობენ ვაკუუმური დაფენების სპეციალურ დანადგარებში რთული ტექნოლოგიური პროცესებისა და მაღალი სისუფთავის მასალების გამოყენებით. ბოლო წლებში სულ უფრო მეტ გავრცელებას პოულობს მრავალშრიანი (განმამტკიცებელი, განმსხივოსნებელი და ჰიდროფობური) დანაფარები სათვალეების ორგანული მინის ლინზებზე (სურათი 2).



სურათი 2. მრავალშრიანი გასხივოსნების დანაფარების სტრუქტურა:

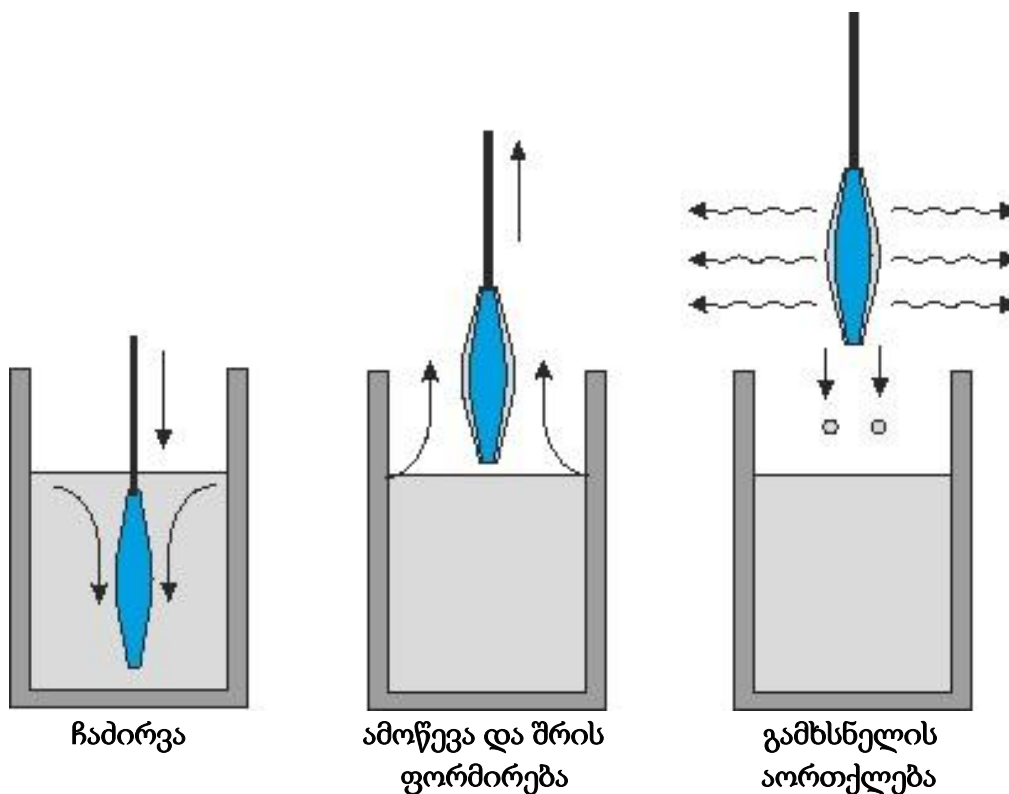
- 1 – ჰიდროფობური დანაფარი; 2 – მრავალშრიანი გასხივოსნების დანაფარი;
3 – განმამტკიცებელი დანაფარი; 4 – დამაკავშირებელი ფენა; და 5 – ლინზა.

ასეთი მრავალშრიანი გასხივოსნების დანაფარების მქონე სათვალეების ლინზებს არ აქვთ ანარეკლი, იზრდება გამოსახულების სიმკვეთრე, მცირდება თვალის დაძაბულობა.

ორგანული მინისაგან დამზადებული ლინზის ზედაპირზე განმამტკიცებელი შრეების მისაღებად დღეისათვის ფართოდ გამოიყენება პოლისილოქსანის ლაქი (სილიციუმორგანული შენაერთი), რომელსაც გააჩნია მთელი რიგი უნიკალური

თვისებები, კერძოდ მაღალი მდგრადობა ღრმა ნაკაწრების წარმოშობისადმი, მაღალი ლუნვადობა და საგრძნობლად დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი.

ორგანული ლინზის ზედაპირის განმამტკიცებელი შრეების მიღება ხდება სუფთა გარემოში, ხოლო ლინზების ზედაპირების მაღალი ხარისხის სისუფთავის მისაღწევად იყენებენ მათ ქიმიურ და ულტრაბერით დამუშავებას. ამის შემდეგ ლინზები მაგრდება სპეციალურ მოწყობილობაში, რომლის მეშვეობით ხდება განმამტკიცებელი შრის მიღება ლინზის თხევადი პოლისილოქსანის ლაქის აბაზანაში ჩაძირვით (სურათი 3). განმამტკიცებელი შრის სისქე რეგულირდება პოლისილოქსანის ლაქის სიზღანტის და ლინზის აბაზანაში ამოწევის სიჩქარეების შერჩევით. აბაზანიდან ამოღების შემდეგ ლინზები თერმულად მუშავდება, რის შედეგადაც ხდება პოლისილოქსანის ლაქის პოლიმერიზაცია და იზრდება ლინზის ზედაპირთან მისი შეერთების სიმტკიცე. პოლისილოქსანის ლაქს გააჩნია მაღალი ელასტიურობა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ზედაპირი, რომელიც არ ზიანდება გარემოსთან კონტაქტის დროს. პოლისილოქსანის ლაქის მთლიანი პოლიმერიზაციის შემდეგ ლინზის ზედაპირი მდგრადი ხდება კაწვრისადმი.



სურათი 3. ჩაძირვის მეთოდით დანაფარების მიღების სქემა.

ლინზები გასხვოსნების დანაფარებით ხასიათდებიან სინათლის მაღალი გამტარებლობით და მინიმალური ანარეკლით. ასეთი ლინზები განსაკუთრებით მგრძნობიარენი არიან სისველისა და ჭუჭყისადმი, რადგან ამ დროს იცვლება გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი. ამ უსიამოვნო ეფექტის თავიდან აცილების მიზნით იყენებენ ჰიდროფობიურ შრეს, რომელიც ხელს უშლის ლინზის ზედაპირზე წყლის წვეთების და ჭუჭყის ნაწილაკების გაჩერებას. ჰიდროფობიური შრეების მისაღებად გამოიყენება ალკილსილანების ჯგუფის ნივთიერებები. ალკილსილანის ყოველი მოლეკულის შემადგენლობაში არის თუნდაც ერთი SiO ჯგუფი, რომელიც ქმნის ჰიდროფობიური

შრის მტკიცე შენაერთს, აგრეთვე ნახშირწყალბადის ჯაჭვი, რომელიც ანიჭებს ნივთიერებას ჰიდროფობიურ თვისებებს. ჰიდროფობიური შრეების სისქე ძალიან მცირეა. ის, ჩვეულებრივ გასხივოსნების ერთი შრის $1 / 10$ -ს არ აღემატება.

სსიპ ინსტიტუტში “ოპტიკა” შექმნილია პოლიმერული ოპტიკური ლინზების დამზადების და გასხივოსნების დანაფარების მიღების ტექნოლოგიური უბნები. ეს უბნები შედგება ლინზების ზედაპირის გაწმენდის, განმამტკიცებელი დანაფარების მიღების, გასხივოსნების შრეების დაფენის და წყალგანზიდვის დანაფარების მიღების სამუშაო ადგილებისაგან.

თავიდან, პოლიმერული მასალისაგან დამზადებული ლინზის ზედაპირი გულმოდგინედ იწმინდება. აბაზანაში სხვადასხვა სარეცხი საშუალებების გამოყენებით გასუფთავებულ ლინზის ზედაპირზე განმამტკიცებელი დანაფარების და გასხივოსნების ბოლო შრეებზე ჰიდროფობური (წყალგანზიდვის) დანაფარების მისაღებად გამოიყენება ჩადირვის მეთოდი, ჩვენს მიერ კონსტრუირებული და დამზადებულ იქნა ექსპერიმენტული მოწყობილობა, რომელიც იძლევა ლინზის სითხეში ჩადირვის შემდეგ მისი ამოწევის სიჩქარეების კონტროლის საშუალებას. ქიმიურად დამუშავებული პოლიმერული ლინზა იძირება აბაზანაში, რომელშიც წინასწარ ჩასხმულია პოლისილოქსანის ლაკი ან ფტოროპლასტის $\Phi-32\text{ЛН}$ ფხვნილისაგან დამზადებული ხსნარი. აბაზანის ტემპერატურა, ლინზის აბაზანიდან ამოწევის სიჩქარეები, და სხვა გარეშე პირობები მკაცრად კონტროლდება. ხსნარის სიბლანტისა და ლინზების ამოწევის სიჩქარეების რეგულირებით მიიღწევა 20 ნმ-დან 50 მკმ-მდე სისქის შრეების ფორმირება.

აბაზანიდან ამოწევის შემდეგ თერმოსტატში $60 - 70^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე ხდება ლინზების თერმული დამუშავება 3 – 4 სთ განმავლობაში და ლაკის პოლიმერიზაცია.

ლინზას, რომელზეც დაფენილია განმამტკიცებელი შრე, ამაგრებენ სპეციალურ დამჭერებზე და ათავსებენ ჰერმეტიკულ ვაკუუმურ კამერაში, სადაც მიიღება მაღალი ვაკუუმი. ვაკუუმურ კამერაში დამონტაჟებულია ორი იდენტური მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა. აღნიშნული დანადგარი დეტალურადაა აღწერილი სტატიაში [2]. ლინზაზე ეფინება თხელფენოვანი პირველი შრე (SiO_2 , $n = 1.45$). შრეების სისქეები კონტროლდება მაგნეტრონული გაფრქვევის სიჩქარეების მართვით. პირველ შრეზე ზემოდან ეფინება მეორე შრე (ZrO_2 , $n = 1.98$). ეს შრეები მეორდება რიგრიგობით და აყალიბებენ გასხივოსნების დანაფარებს.

ლინზებზე განმამტკიცებელი და გასხივოსნების შრეების დაფენის შემდეგ საჭიროა გასხივოსნების გარე შრეზე ჰიდროფობური შრის, ჩვენს შემთხვევაში ფტოროპლასტის თხელი შრის დაფენა. რომელიც უზრუნველყოფს ლინზის ზედაპირის დაცვას წყლის და წყლის ორთქლის ზემოქმედებისაგან და წყლის წვეთების წარმოქმნისაგან. ფტოროპლასტის თხელი შრისაგან დამზადებულ ჰიდროფობიურ შრეს გააჩნია ძალიან დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი, ზრდის დასველედობის კუთხეს და ამით ამცირებს ლინზების დაორთქლვას.

ისევე, როგორც განმამტკიცებელი შრის შემთხვევაში, ლინზებზე ჰიდროფობური შრეების დასაფენად გამოიყენება ჩადირვის მეთოდი. ლინზას ამაგრებენ დამჭერზე და ჩადირავენ აბაზანაში, სადაც არის წინასწარ მომზადებული გარკვეული სიბლანტის ფტოროპლასტის $\Phi-32\text{ЛН}$ ფხვნილისაგან დამზადებული ხსნარი. ამასთან, ლინზის ხსნარიდან ამოწევის სიჩქარეები მუდმივია. შემდეგ ლინზა თავსდება თერმოსტატში და $60 - 70^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე ხდება ჰიდროფობური შრის გაშრობა.

აღწერილი ტექნოლოგიის საფუძველზე ჩვენ მიერ დამზადებულია პოლიმერული, გასხივოსნების მრავალშრიანი დანაფარების მქონე ლინზების ლაბორატორიული ნიმუშები.

დამოწმებანი

1. А. И. Игнатьев, С. С. Киселев, Н. В. Никоноров, А. И. Сидоров, А. С. Рохми. Материалы и технологии интегральной и волоконной оптики. 2009, Санкт-Петербург, 58-61.
2. ზ. ვ. ბერიშვილი, ი. ი. კორძაია, დ. გ. ზარდიაშვილი, გ. გ. აბრამიშვილი, ი. მ. ავალიანი, დ. მ. შალამბერიძე, ი. დ. ივანიძე. ვაკუუმში ВУ-1А ტიპის დანადგარის მოდერნიზაცია მრავალშრიანი პერიოდული სტრუქტურის მქონე ოპტიკური დანაფარების მისაღებად. Nano Studies, 2014, 9, 169-176.