



ინფრაწითელი გამოსხივების კონცენტრირების ზოგიერთი ასპექტი

თენგიზ ხაჩიძე, ნიკოლოზ ხაჩიძე
სსიპ ინსტიტუტი „ოპტიკა“

ანოტაცია

ნაშრომში მოყვანილია ინფრაწითელი გამოსხივების ეფექტური კონცენტრატორის შექმნასთან დაკავშირებული კვლევები. ასეთი ტიპის კონცენტრატორების გამოყენებით შესაძლებელი იქნება სუსტი ან შორი მანძილიდან მოსული ინფრაწითელი გამოსხივების დეტექტირება. ავტორების აზრით ამ შემთხვევაში ლინზა-კონცენტრატორებთან შედარებით უპირატესია ამრეკლზედაპირიანი კონცენტრატორების გამოყენება. კერძოდ, შემოთავაზებულია ფოკონის კონსტრუქცია, რომელიც რამდენიმე სექციისაგან შედგება. თითოეული სექცია დამოუკიდებელი ფოკონია და მასზე დაცემულ სხივებს ერთჯერადი არეკვლით აფოკუსირებს. აღნიშნული კონსტრუქციის ფოკონი გამოიცადა და შედარდა მისი ეფექტურობა იგივე კონცენტრაციის ხარისხის მქონე ჩვეულებრივ კონუსურ ფოკონს. ექსპერიმენტის პირველადი შედეგებით დადგინდა, რომ მისი ეფექტურობა უფრო მაღალი იყო. გარდა ამისა მკვეთრად შემცირდა კონცენტრატორის გაბარიტები (სიგრძე).

საკვანძო სიტყვები: ინფრაწითელი გამოსხივება, ოპტიკური კონცენტრატორი, ფოკონი.

ინფრაწითელი გამოსხივება ანუ თბური გამოსხივება - ეს არის გამოყოფილი სითბური ენერჯის სახეობა რომელსაც გამოსცემს ნებისმიერი გამთბარი სხეული. ამ ტიპის გამოსხივების კონტროლი ბევრ ინფორმაციას იძლევა მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში, მათ შორის მედიცინაშიც. ინფრაწითელ გამოსხივებას გამოსცემენ ადამიანები და სითბურძრავიანი სატრანსპორტო საშუალებები. თანამედროვე სენსორების საშუალებით შესაძლებელია ინფრაწითელი გამოსხივების დეტექტირება ფართო სპექტრალურ დიაპაზონში, მათ შორის 0°C -ზე დაბალი ტემპერატურის მქონე სხეულების გამოსხივებისაც. თუ ადამიანის კანს განვიხილავთ როგორც გამოსხივებელს, მაშინ ვინის კანონიდან გამომდინარე ($\lambda_{\max}=0,0028999/T$) ადამიანის გამოსხივების სპექტრის მაქსიმუმი $T=36^{\circ}\text{C}$ (309 K) ტემპერატურაზე შეადგენს 9400 ნმ ($9,4\text{მკმ}$) სიგრძის ტალღას. აქედან გამომდინარე ინფრაწითელი გამოსხივების $7\text{-}14\text{ მიკრონი}$ დიაპაზონის მიმართ ინტერესის მიზეზი დიდია, მას ატმოსფერული გამჭვირვალობის მეორე ფანჯარა ეწოდება. მაღალ ტემპერატურაზე გაცხელებული გარემოს ტემპერატურის გასაზომად (მონიტორინგისთვის) გამოიყენება $3\text{-}5\text{ მიკრონის}$ დიაპაზონი (ატმოსფერული გამჭვირვალობის პირველი ფანჯარა). მაგრამ თუ ეს

გამოსხივება სუსტია ან შორ მანძილზეა, მისი დეტექტირებისათვის საჭიროა ოპტიკური კონცენტრირება, რათა გავზარდოთ სენსორზე მოსული სითბური გამოსხივების ინტენსივობა. ასეთ შემთხვევებში საჭიროა მინიმუმამდე დავიყვანოთ ინფრაწითელი სხივების დანაკარგები და მისი მაქსიმალური კონცენტრაცია მოვახდინოთ სენსორზე. ე.ი. ეფექტური იქნება ოპტიკური კონცენტრატორების გამოყენება.

ლინზის ტიპის კონცენტრატორების გამოყენება ინფრაწითელ არეში გარკვეულ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. აქედან ძირითადია სპექტრალური დიაპაზონი რომელსაც მინიმალური დანაკარგებით უნდა ატარებდეს ლინზა. ინფრაწითელ არეში კი საჭიროა სპეციალური მასალებისაგან დამზადებული ლინზა. შედარებით ხელმისაწვდომი მასალებია: გერმანიუმი (Ge), სილიციუმი (Si), გალიუმის არსენიდი (GaAs) და კადმიუმის ტელურიდი (CdTe); თუთიის ნაერთები, როგორცაა თუთიის სულფიდი (ZnS) და თუთიის სელენიდი (ZnSe); წყალში ხსნადი კრისტალები, როგორცაა კალიუმის ბრომიდი (KBr), ნატრიუმის ქლორიდი (NaCl) და კალიუმის ქლორიდი (KCl); ფტორები, როგორცაა მაგნიუმის ფტორიდი (MgF₂), კალციუმის ფტორიდი (CaF₂) და ბარიუმის ფტორიდი (BaF₂); და სხვა მასალები, როგორცაა კვარცი და საფირონი; ქალკოგენიდური მინა და ა.შ. ისინი ძვირადღირებულია და მათ ბაზაზე ოპტიკური დეტალების დამზადება ტექნოლოგიურ სირთულეებს შეიცავს. გარდა ამისა ლინზების გამოყენებისას ოპტიკური გამოსხივების კონცენტრირებისას ფიქსირდება საკმაოდ მაღალი ოპტიკური დანაკარგები (საშუალოდ 10% აღემატება), რომლებიც შეიძლება გამოწვეული იყოს მასალის მიერ მოცემულ სპექტრალურ დიაპაზონში მაღალი შთანთქმით და ასევე გარე და შიდა ზედაპირებით გამოწვეული არეკვლით [1]. აღნიშნული მასალები ძვირადღირებულია და დიდი ფართობის კონცენტრატორების მიღება არა მარტო ტექნოლოგიურ პრობლემებთან არამედ ფასის მკვეთრ ზრდასთანაც არის დაკავშირებული.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, უნდა შეირჩეს ოპტიკური კონცენტრატორის სხვა ტიპი. ამ შემთხვევაში მიზანშეწონილად მივიჩნით ამრეკლზედაპირიანი კონცენტრატორების გამოყენება [2]. ასეთი ტიპის კონცენტრატორების ამრეკლი (სარკული) ზედაპირი აუცილებლად დამზადებული უნდა იყოს ლითონისაგან. ეს გენპირობებულია იმით, რომ მასალის მიერ სინათლის შთანთქმა, არეკლვა, გაბნევა, გამოსხივება მნიშვნელოვნადაა განპირობებული მასში შემავალი ელექტრონებით, მათი ენერგეტიკული სპექტრით, სინათლის გავრცელებისას ელექტრონთა კოლექტიური მოძრაობის შემზღუდავი ფაქტორებით. ეს უკანასკნელი, ანუ მასალაში სინათლით აღძრული ელექტრონთა კოლექტიური რხევა მესრის დადებითი იონების ელექტრულ ველში, აღიწერება კვაზინაწილაკებით, რომლებსაც პლაზმონები ეწოდებათ (პლაზმონი რეალურად ელექტრონთა ანსამბლის რხევის ენერგიაა, რომელიც მყარ სხეულში დაკვანტულ სიდიდეებს ღებულობს. მასალის, განსაკუთრებით კი ლითონების, ოპტიკურ თვისებებში პლაზმონები უდიდეს როლს თამაშობენ. პლაზმონურ სიხშირეზე ნაკლები სიხშირის გამოსხივება ანუ ელექტრომაგნიტური ტალღა მასალაში ვერ გაივლის, რადგან მას ველის ცვლილებასთან შედარებით უფრო სწრაფად მოძრაობს ელექტრონები ევრანირებენ. შედეგად გამოსხივება აირეკლება. პირიქით, თუ პლაზმის სიხშირე გამოსხივების სიხშირეზე ნაკლებია, მაშინ ელექტრონები ვეღარ რეაგირებენ ტალღაში ველის ცვლილებაზე და ეს გამოსხივება მასალას

განჭოლავს. ნახევარგამტარებისთვის პლაზმონური სიხშირე ინფრაწითელ უბანში მდებარეობს, ლითონებისთვის კი -ულტრაისფერში ($\hbar\omega=5-30$ ევ). ეს იწვევს ლითონების მიერ მთელი ხილული უბნის და ინფრაწითელი სხივების არეკვლას და მათ მბრწყინავ ფერს. სწორედ ამიტომაა ძნელი სხვადასხვა ლითონის ერთმანეთისგან თვალთ განსხვავება. მაგრამ არსებობენ ლითონები, მაგალითად ოქრო, რომლის პლაზმონური სიხშირეც ხილულ უბანშია და რაც მას ბევრისთვის მიმზიდველ ყვითელ ფერს ანიჭებს.

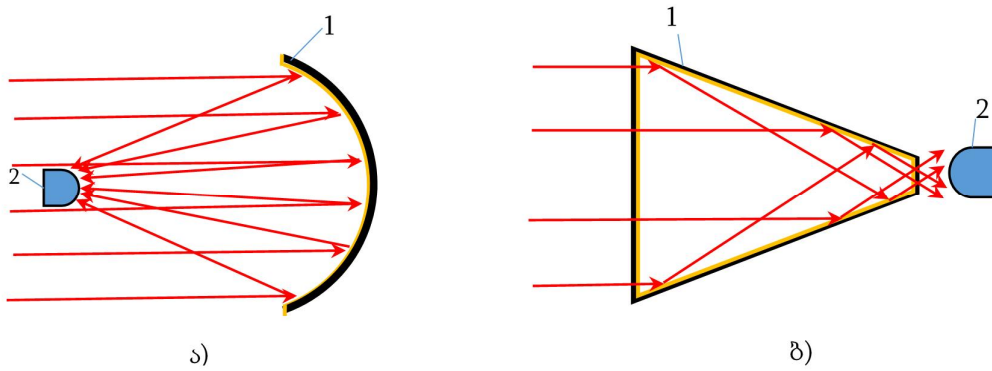
ამრეკლი ზედაპირისთვის ლითონის შერჩევისას აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს შემდეგი ფაქტორები: მოცემულ სპექტრალურ არეში არეკვლის კოეფიციენტი, ტექნოლოგიურად ადვილად დამუშავების და აპრილების შესაძლებლობა, მექანიკური, სითბური და ქიმიური მდგრადობა. ზოგიერთი ლითონის არეკვლის კოეფიციენტი R პროცენტებში $\Pi=0,5$ მკმ და $\Pi=5$ მკმ ტალღის სიგრძებისათვის მოცემულია ცხრილში-1 [3,4].

ცხრილი 1.

ლითონი	Cu	Ag	Au	Zn	Al	In	Sn	Pb	Ti	Nb	V	Mo	W	Fe	Co	Ni	Pt
R%	63,2	95,5	68,8	—	91,4	—	80,5	62,6	52,2	56,0	56,6	59,5	51,6	63,7	65,9	61,6	65,7
$\Pi=0,5$ მკმ																	
R%	98,9	99,2	98,95	97,9	98,2	96,6	96,2	95,0	87,4	96,2	92,7	97,2	97,0	90,8	92,9	94,8	93,7
$\Pi= 5$ მკმ																	

როგორც ცხრილიდან ჩანს მოცემული ლითონებიდან თითქმის ყველა გამოდგება ინფრაწითელ არეში ამრეკლი ზედაპირის დასამზადებლად. წარმოდგენილი ფართო სპექტრიდან ზოგიერთი ლითონისგან პირდაპირ შეიძლება გაიჩარხოს ამრეკლზედაპირიანი კონცენტრატორი ან მოხდეს მათი ფორმირება (ვაკუუმური დაფენა, ქიმიური და ელექტროქიმიური ფაფენა, დაწებება და ა.შ) სხვა მასალისაგან წინასწარ გაჩარხულ პროფილზე. ამრეკლზედაპირიანი კონცენტრატორები შეიძლება იყოს რეფლექტორის და ფოკონის (მაფოკუსირებელი კონუსი) ტიპის სხივების შემკრები სარკეები. თავის მხრივ რეფლექტორის ტიპის კონცენტრატორი შეიძლება იყოს სფერული და ასფერული (პარაბოლური) ზედაპირის მქონე. უპირატესობა ენიჭება პარაბოლურ ზედაპირს რადგანაც მასზე დაცემული პარალელურ სხივთა კონა იკრიბება ერთ წერტილში. რაც შეეხება ფოკონის ტიპის კონცენტრატორებს ისინიც განსხვავებულია. გვაქვს გეომეტრიული მრავალფეროვნება რომელიც მოიცავს პირამიდის, კონუსის, პარაბოლურ-კონუსურ ფორმებს. გეომეტრიული ფორმა ირჩევა კონკრეტული შემთხვევიდან გამომდინარე.

რეფლექტორული და ფოკონური კონცენტრატორის გამოყენების სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახაზზე-1.

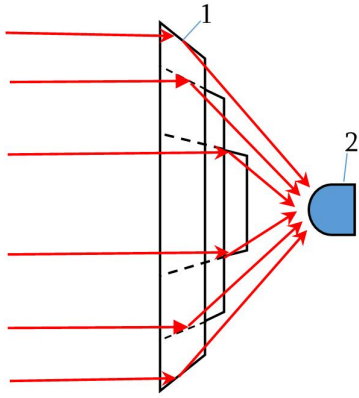


ნახ.1. ამრეკლზედაპირიანი კონცენტრატორებით მარეგისტრირებელ სენსორზე გამოსხივების ფოკუსირების სტრუქტურული სქემა. ა) 1-პარაბოლური ამრეკლი, 2- გამოსხივების მარეგისტრირებელი სენსორი; ბ) 1-ფოკონური მაფოკუსირებელი, 2- გამოსხივების მარეგისტრირებელი სენსორი.

მოცემული სტრუქტურული სქემიდან ჩანს, რომ პარაბოლური ამრეკლის გამოყენების შემთხვევაში კონცენტრირებული გამოსხივების მარეგისტრირებელი სენსორი მოთავსებულია გამოსხივების წყაროსა და ამრეკლს შორის (ნახ.1ა.). სენსორი გარკვეული დოზით ეფარება ამრეკლს და ამცირებს მასზე დაცემული გამოსხივების ინტენსივობას. დიდი ზომის კონცენტრატორებში რომელთა ზედაპირის ფართობი დიდია (ასეულობით cm^2 და მეტი), სენსორის ფართობით (არ აღემატება რამდენიმე cm^2) დაჩრდილვა შეგვიძლია უგულებელვყოთ. მაგრამ ეს ფაქტი უარყოფითად აისახება იმ შემთხვევებში როდესაც კონცენტრატორი მცირე ზომისაა და შესაბამისად სენსორის დაჩრდილვით შემცირებული გამოსხივების ხვედრითი წილი მაღალია.

ფოკონის ტიპის მაფოკუსირებლის გამოყენებისას გამოსხივების მარეგისტრირებელი სენსორი მოთავსებულია კონცენტრატორის უკან და არ ფარავს გამოსხივების წყაროს. შესაბამისად წყაროდან მოსული გამოსხივება დანაკარგების გარეშე აღწევს ფოკონის ზედაპირამდე და ფოკონის ზომები ამით არ არის შეზღუდული. კლასიკური კონსტრუქციის ფოკონზე დაცემული გამოსხივება რამდენჯერმე ირეკვლება მისი ზედაპირიდან და შემდგომ აღწევს გამოსასვლელს (ნახ.1ბ.). თითოეული არეკვლის შემდეგ გვაქვს ზედაპირის გაბნევით და შთანთქმით გამოწვეული დანაკარგები (დაახლოებით 4-10%), რომელიც დამოკიდებულია ზედაპირის მასალაზე და მის სიმქისეზე. გარდა ამისა ასეთი ფოკონების სიგრძე საკმაოდ დიდია.

ზემოთ ნახსენები ნაკლოვანებების გამოსასწორებლად ჩვენ შევიმუშავეთ ფოკონის კონსტრუქცია, რომელიც რამდენიმე სექციისაგან შედგება (ნახ.2). თითოეული სექცია წარმოადგენს კონუსურ ფოკონს. აღნიშნული სექციები განსხვავებული დიამეტრისაა, გააჩნიათ სხვადასხვა დახრა და ისე არიან ერთმანეთში განთავსებული, რომ მათგან არეკვლილი სხივები გამოსვლისას ერთ ფოკუსში იკრიბებოდეს. სექციების სიგრძე ისეა გათვლილი, რომ მასზე ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივები დაცემისას მხოლოდ ერთჯერადი არეკვლით გამოვიდნენ გარეთ. სექციების რაოდენობა ძირითადად განისაზღვრება საჭირო ოპტიკური კონცენტრაციის ხარისხიდან გამომდინარე.



ნახ.2. მრავალსექციანი ფოკონური კონცენტრატორის სტრუქტურული სქემა. 1- მრავალსექციანი ფოკონური კონცენტრატორი; 2-კონცენტრირებული გამოსხივების მარეგისტრირებელი სენსორი.

როგორც ნახაზიდან ჩანს ასეთი კონსტრუქციის კონცენტრატორი ბევრად მოკლეა სტანდარტულ ფოკონურ კონცენტრატორზე. სექციების რაოდენობის მატება პრაქტიკულად არ ზრდის სიგრძეს. იზრდება გამოსხივების მიმღები ზედაპირის ფართობი და მეტი სხივური ენერჯიის კონცენტრირების შესაძლებლობა ანუ კონცენტრაციის ხარისხი.

ჩვენს მიერ დამზადდა აღნიშნული მრავალსექციანი კონსტრუქციის ფოკონური კონცენტრატორის საცდელი ნიმუში. კონცენტრატორის სექციების რაოდება ოთხს, ხოლო გამოსხივების მიმღები ფართობი 18სმ^2 შეადგენდა. მრავალსექციანი ფოკონი გამოიყენა გამოსხივების სპექტრის წითელ არეში. აღნიშნული სპექტრალური დიაპაზონი შერჩეული იქნა მისი ხილულობიდან გამომდინარე ექსპერიმენტის გაიოლების მიზნით. წითელი გამოსხივების პარალელურ სხივთა კონის დაცემის შემდეგ ფოკონის მიერ გამოსხივების ფოკუსირებული ფართობი დაახლოებით $0,6\text{სმ}^2$ იყო. ინტენსივობების გაზომვებმა გვიჩვენა, რომ კონცენტრაციის ხარისხი თეორიულთან (დაახლოებით 30) ახლოს იყო და შეადგენდა 26. რისი მიღებაც კლასიკური (ერთსექციანი) ფოკონური კონცენტრატორით პრაქტიკულად შეუძლებელია. გარდა ამისა ექსპერიმენტის დროს დადასტურდა, რომ სექციების რაოდენობის ცვლილებით იცვლებოდა რა გამოსხივების მიმღები ფართობი შესაბამისად იცვლებოდა კონცენტრირებული გამოსხივების ინტენსივობაც.

აღნიშნული მრავალსექციანი ფოკონი გამოიყენა ინფრაწითელ გამოსხივების დეტექტირებისათვისაც მოძრაობის ინფრაწითელ სენსორთან წყვილში. პირველადი შედეგებით დაფიქსირდა, რომ ამ ტიპის კონცენტრატორის გამოყენებით შესაძლებელია ინფრაწითელი (სითბური) გამოსხივების მქონე შორ მანძილზე მოძრავი ობიექტების (ადამიანები, სითბურძრავიანი ტექნიკა და ა.შ.) დეტექტირება. ამ შემთხვევაშიც ეფექტურობა მრავალსექციურობიდანაა გამომდინარე. რადგან მოძრავი სხეულიდან წამოსული სხივი სხვადასხვა კუთხით მოდის ის კონცენტრატორის სხვადასხვა სექციით ფოკუსირდება სენსორზე. შესაბამისად სხივის ინტენსივობის ცვლილება უფრო მკვეთრია და საგრძნობი.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ოპტიკური გამოსხივების (მათ შორის ინფრაწითელი-სითბური) კონცენტრირებისათვის შესაძლებელია დამზადდეს

ფოკონის ტიპის მრავალსექციანი კონცენტრატორი. რომლის კონცენტრაციის ხარისხი არ იქნება შეზღუდული და სექციების რაოდენობის ზრდით შეგვეძლება ჩვენთვის სასურველი სიდიდის მიღება. სხივური დანაკარგები იქნება მინიმალური, რადგან მხოლოდ ერთჯერადი არეკვლით ხდება მათი ფოკუსირება და გამოსხივების დეტექტორი კონცენტრატორის უკან დგება. ასევე მრავალსექციანი კონცენტრატორის გამოყენებით შესაძლებელი იქნება შორ მანძილზე მოძრავი ინფრაწითელი გამოსხივების მქონე ობიექტების დეტექტირებაც.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Khachidze, T.I. , & Khachidze, N.I. . (2022). Anti-reflective coatings for solar power optical lens concentrators of different geometric shapes. *Georgian Scientists*, 4(4), 243–247. <https://doi.org/10.52340/gS.2022.04.04.26>
2. Khachidze T.I., Avaliani I.M., Shalamberidze D.M.. Some aspects of efficient use of A3B5 materials-based concentrators for photovoltaic cells of solar energy converters. *Nano Studies* №12, 2015, p.p. 133-138.
3. Борн М., Вольф Э., Основы оптики, пер. с англ. 2 изд., М., 1973;
4. Гинзбург В. Л., Мотулевич Г. П., Оптические свойства металлов, «Успехи физических наук», 1955, т. 55, в. 4, с. 489;

Some aspects of concentrating infrared radiation

Tengiz Khachidze, Nikoloz Khachidze

LEPL Institute "Optica"

Abstract

The paper presents studies related to the creation of an effective concentrator of infrared radiation. Using such concentrators, it will be possible to detect weak or long-distance infrared radiation. According to the authors, in this case, the use of concentrators with reflective surfaces is preferable to lens concentrators. In particular, a phocone design is proposed, which consists of several sections. Each section is an independent phocone and focuses the rays incident on it by a single reflection. The phocone of the above design was tested and its efficiency was compared with a conventional conical phocone with the same concentration quality. The initial results of the experiment showed that its efficiency was higher. In addition, the dimensions (length) of the concentrator were significantly reduced.

Keywords: infrared radiation, optical concentrator, Focon.