

ინოვაციური პლანარულ-როტაციული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა თანამედროვე მონო და მრავალკომპონენტური დანაფარების სინთეზისთვის

Zaur Berishvili

LEPL Institute „Optica”, Tbilisi, Georgia, Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

Marina Kipiani

LEPL Institute „Optica”, Tbilisi, Georgia, Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

ORCID: 0000-0002-6306-068X

Iuri Papava

Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

Bela Kvirkvelia

Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

ORCID: 0000-0002-7470-1980

აბსტრაქტი. ოპტიკაში, ელექტრონიკაში, მედიცინაში, განახლებად ენერგიაში, ეკოლოგიასა და მეცნიერებისა თუ ტექნიკის სხვა დარგებში არსებული გამოწვევები დღესდღეობით მოითხოვს, რომ მათ მიერ გამოყენებულ მასალებს ჰქონდეთ განსაკუთრებული თვისებები, ხარისხი და მიიღწეულ იქნას ეკონომიკური ეფექტურობა. შესაბამისად, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ინოვაციური, ეკოლოგიურად სუფთა მაღალი ტექნოლოგიების შემუშავება და მათი კომერციალიზაციისათვის ხელშეწყობა. ვაკუუმში მაგნეტრონული გაფრქვევა ტექნოლოგიების სწორედ იმ რიგს განეკუთვნება, რომლის მნიშვნელობა განსაკუთრებით გამოიკვეთა თანამედროვე გამოწვევების არსებობის პირობებში. იგივეზე მიუთითებს სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვაც. მკვლევარები ვაკუუმურ გარემოში სტაციონალური პლანარული მაგნეტრონული გაფრქვევის დროს თხელი დანაფარების მიღებასთან დაკავშირებით მნიშვნელოვან სირთულეებს აწყდებიან. ამ ტექნიკა-ტექნოლოგიის დეტალური შესწავლა არსებული სირთულეების ლოგიკური ახსნის საშუალებას იძლევა. ეს სირთულეები მოიცავს საწარმოო პროცესების მიმდინარეობისას დაფიქსირებულ მნიშვნელოვან ეკონომიკურ დანაკარგებს და როგორც ტექნოლოგიური პროცესების, ასევე მიღებული შედეგების არასტაბილურობას, რაც ერთმნიშვნელოვნად განპირობებულია სამიზნის გაფრქვევის ზონის არაერთგვაროვნებით. გაფრქვევის ზონის არაერთგვაროვნება, თავის მხრივ, გამოწვეულია სამიზნე ზედაპირზე და მის მახლობლად მაგნიტური ველის სპეციფიკური კონფიგურაციითა და მისი სტატიკური ბუნებით. ამ სტატიაში საუბარი გვექნება ვაკუუმში პლანარული მაგნეტრონის გაფრქვევის ტექნოლოგიასთან დაკავშირებულ ინოვაციურ გადაწყვეტაზე. ჩვენ წარმოგიდგენთ პლანარულ-როტაციული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობას, რომელსაც შეუძლია წარმატებით გადაჭრას ვაკუუმში მაგნეტრონული გაფრქვევის წინაშე მდგარი სირთულეები და შესაბამისად, გარღვევა მოახდინოს მასალათმცოდნეობაში, განსაკუთრებით მონო და მრავალკომპონენტური თხელი დანაფარების სინთეზის მიმართულებით.

საკვანძო სიტყვები: მაგნეტრონი, ვაკუუმი, სამიზნე, ეროზია, წრეწირის ევოლვენტა, სუბსტრაქტი

1970-იან წლებში, მიკროელექტრონიკისთვის საჭირო მასალების მისაღებად, კერძოდ, მიკროსქემების მეტალიზაციისთვის, ამერიკელმა მეცნიერებმა შემოიღეს ახალი ტექნიკა [1,2,3], რომელმაც მთლიანად შეცვალა ვაკუუმში თანამედროვე მასალების მიღების მეთოდების შესახებ წარმოდგენები. ეს იყო ვაკუუმური პლანარული სტაციონარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა (PMSD), რომლის მუშაობის პრინციპი ეფუძნებოდა სამიზნე ზედაპირის დაბომბვას პლაზმის იონების აჩქარებული ნაკადით და მის გაფრქვევას სტაციონარული, დახურული კონფიგურაციის მაგნიტური ველის გამოყენებით, რომელიც შექმნილი იყო საპირისპირო პოლარობის მქონე მაგნიტების მატრიცით დაბალი ვაკუუმისა და მაზვის პირობებში.

1. კვლევის ობიექტი და საგანი

პლანარული სტაციონარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობის დიზაინი შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: 1. კათოდური სამიზნე; 2. ანოდი; 3. მაგნიტური ბლოკი, რომელიც სამიზნის ზედაპირზე წარმოქმნის შესაბამისი ჩაკეტილი კონფიგურაციის მაგნიტურ ველს. ის კი თავის მხრივ, მიწოდებულ მაზვასთან ერთად ქმნის ე.წ. „ელექტრონების ხაფანგს“, იგივე „ელექტრონების სარბენ ბილიკს“.

აღნიშნული მოწყობილობის მაგნიტური ბლოკის მაგნიტურ ველს აქვს მარტივი მრგვალი ან მართკუთხა კონფიგურაცია. ამ მოწყობილობის გადაულახავ პრობლემებს შორისაა შედეგების არასტაბილურობა და მაღალი ეკონომიკური დანაკარგები, რომლებიც გამოწვეულია როგორც მაგნიტური ველის კონფიგურაციით, ასევე მოწყობილობის სტატიკური ბუნებით. ამ შემთხვევაში, ამორტიზებულ სამიზნეს აქვს ვიწრო, V-ფორმის გაფრქვევის პროფილი, რაც აისახება კათოდი სამიზნის დაბალი გამოყენების მაჩვენებელზე, რომელიც 30%-ს შეადგენს. დარჩენილი 70% (საკმაოდ ძვირადღირებული მასალა) გამოუსადეგარი ხდება. გარდა ამისა, გაფრქვევის ზონის ასეთი პროფილი იწვევს ტექნოლოგიური პროცესების და მიღებული შედეგების არასტაბილურობას.

აღსანიშნავია, რომ თხელი ფირების დეპონირებისას მაგნიტრონული გაფრქვევის დროს რეჟიმების სტაბილურობის თვალსაზრისით, სამიზნის ეროზიის მდგომარეობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ეს არის ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრების ერთობლიობა, როგორცაა საფარის დომინანტური კრისტალოგრაფიული ფაზა, მიკროსტრუქტურა, ზედაპირის მორფოლოგია, გაფრქვეული მასალის ელექტრული წინააღმდეგობა და ა.შ. [4]

დღეისათვის ყველაზე მნიშვნელოვან ტექნიკურ და ტექნოლოგიური მიღწევებად შეიძლება ჩაითვალოს სტაციონალური მართკუთხა მაგნიტური სისტემით აღჭურვილი, მბრუნავი ცილინდრული სამიზნის მქონე მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა, რომელიც საშუალებას აძლევს მწარმოებლებს საგრძნობლად გაზარდონ სუბსტრაქტის მოცულობა (მათი ხაზოვანი ზომები), შეამცირონ ნაწარმის ღირებულება და გაზარდოს მიღებული ფირების ხარისხი. სამიზნე (ცილინდრული მილი) ბრუნავს სტაციონალური მაგნიტური სისტემის გარშემო და წარმოქმნილი ეროზიის ზონა უწყვეტად გადაადგილდება ცილინდრული სამიზნის მთელ ზედაპირზე. ვინაიდან აღნიშნული ტიპის მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობას ანოდი არ გააჩნიათ, ფუძემდებზე

მაგნეტრონული პლაზმიდან ტემპერატურული ზემოქმედება გაზრდილია და ხშირ შემთხვევაში აღნიშნული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობის ერთ-ერთ უარყოფით თვისებად სწორედ მაღალი ტემპერატურული რეჟიმი განიხილება [5].

2. ლიტერატურული მიმოხილვა

ვაკუუმში სტაციონარული მაგნეტრონული რეაქტიული გაფრქვევის დროს, ოქსიდების, ნიტრიდების და კარბიდების დეპონირებისას სხვადასხვა სირთულეები წარმოიქმნება, რომლებსაც ფართოდ მიმოიხილავენ თანამედროვე პუბლიკაციებში. მათ შორისაა განმუხტვის არასტაბილურობა, ანოდის გაქრობა და სხვა, ამ პროცესთან დაკავშირებული საკითხები. ამ სირთულეების განხილვისას, გერმანელი მკვლევარები, პროფესორ გ. ბროიერის ხელმძღვანელობით, იკვლევენ პროცესის სტაბილურობის გაუმჯობესების და დეპონირების სიჩქარის გაზრდის პოტენციალს სამიზნე ზედაპირის პლაზმური სკანირების სავარაუდო შესაძლებლობის გზით [6]. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ სირთულეების პლაზმური სკანირების გზით გადაჭრის შესაძლებლობის არსებობა, როგორც ეს მათ კვლევებშია აღნიშნული, სამომავლო კვლევის საგანია. თუმცა, ეს მიდგომა შეიძლება აიხსნას და ეფექტურად განხორციელდეს უკვე ჩვენს მიერ შემოთავაზებული ინოვაციური ტექნიკისა და ტექნოლოგიის გამოყენებით.

მაგნეტრონული გაფრქვევის გამოყენების აუცილებლობისა და სირთულეების მიუხედავად, სტაციონარული პლანარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობებში დღემდე არ განხორციელებულა ფუნდამენტური სტრუქტურული ან ტექნოლოგიური ცვლილებები. თუმცა აღსანიშნავია, რომ მიღებული შედეგების გასაუმჯობესებლად წამყვანი სამეცნიერო ჯგუფების ექსპერიმენტული მუშაობა ამ მიმართულებით დღემდე გრძელდება. ამერიკელი [7,8,9], ევროპელი [10], კორეელი [11], ინდოელი [12] და ჩინელი [13,14] მკვლევარების მიერ ჩატარებული კვლევები, სხვათა შორის, ნათლად უსვამს ხაზს როგორც ამ ტექნოლოგიის საჭიროებას, ასევე მასთან დაკავშირებული პრობლემების შემცირების სტრატეგიების შემუშავების აუცილებლობებს. მათი ფართო და ხანგრძლივი ექსპერიმენტული კვლევებისა და თავდაუზოგავი ძალისხმევის მიუხედავად, საწყის შედეგებში მხოლოდ მცირე გაუმჯობესებაა მიღწეული და ამიტომ კვლევები კვლავაც გრძელდება.

მაგალითად, კორეელი მეცნიერები მოდელირების გზით იკვლევენ მუდმივი მაგნიტების კონფიგურაციის ცვლილებების გავლენას სამიზნის ეროზიაზე სტაციონარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობაში, რომელიც მუდმივი დენის (DC) პირობებში მუშაობს. მათი მიზანია სამიზნის ეროზიის არაერთგვაროვნების შემცირების მეთოდებისა და მიდგომების იდენტიფიცირება. ამ მიზნით, მათ ჩაატარეს ორგანოზომილებიან (2D) და სამგანზომილებიან (3D) პარალელურ ნაწილაკ-უჯრედში (PIC) სიმულაციები, რათა შეესწავლათ მაგნიტური ველის კონფიგურაციებსა და სამიზნის ეროზიის პროფილებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება. მათი დასკვნები მიუთითებს, რომ მუდმივი მაგნიტების რაოდენობის ცვალებადობით და მათი კონფიგურაციის სირთულის გაზრდით, შესაძლებელია პლაზმის განაწილების გარკვეული კონტროლი და შესაბამისად, გაფრქვევის პროფილების და კათოდ-სამიზნესთან მუშაობის უმნიშვნელო გაუმჯობესება.

მკვლევარების მიერ ამჟამად განხილული გამოწვევები ათწლეულების განმავლობაში მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენდა. პირველი მაგნეტრონის გამოგონებიდან მალევე დაიწყო ვაკუუმში მაგნეტრონული გაფრქვევის დროს წარმოშობილი უარყოფითი

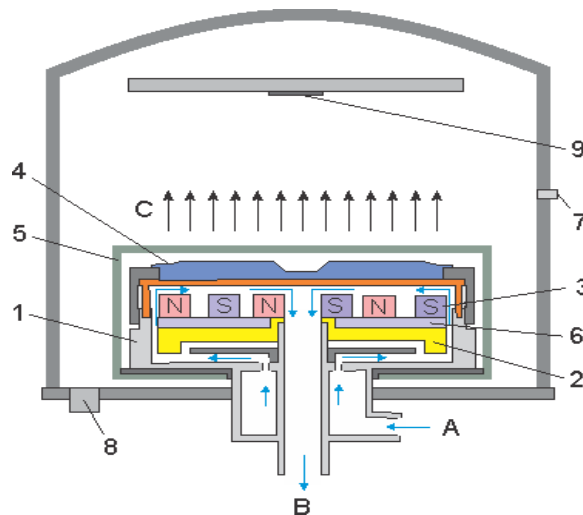
მოვლენების დასაძლევად ახალი მეთოდების შემუშავება. 1980-იან წლებში ქართველმა მეცნიერებმა შეიმუშავეს ორიგინალური დიზაინი და ახალი თაობის პლანარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა, რომელიც აღჭურვილი იყო მბრუნავი მაგნიტური ველით — პლანარულ-როტაციული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა (PRMSD) [15].

3. კვლევის მეთოდები

კათოდურ სისტემაში(1) მაგნიტური ბლოკის ბრუნვაში მოსაყვანად, მაღალი წნევით შეჰყავთ გამაგრირებული სითხის ნაკადი (A). ეს სითხე ეცემა მაგნიტური ბლოკის ტურბინის ლაპოტებს (2), რაც იწვევს მის ბრუნვაში მოყვანას და ამავე დროს წარმოქმნის გამაცივებელი სითხის მაღალ ტურბულენტურ დინებას. აღნიშნული მექანიზმი 3-4-ჯერ ზრდის გაგრილების ეფექტურობას [16].

მაგნიტური ბლოკი შედგება მუდმივი მაგნიტების მატრიცისგან (3) და დამჭერი კონსტრუქციისგან (6). მაგნიტურ ბლოკთან ერთად, დისკის ფორმის კათოდური სამიზნის (4) ქვეშ განლაგებული ტურბინა ბრუნვის დროს უზრუნველყოფს ჩაკეტილი მარყუჟის ფორმის მაგნიტური ველის „ელექტრონების სარბენი ბილიკის“ სინქრონულ გადაადგილებას სამიზნის მთელ ზედაპირზე (ნახ.1).

მაგნიტურ ბლოკში მუდმივი მაგნიტების განლაგების ოპტიმალური კონფიგურაცია დადგენილ იქნა მათემატიკური გამოთვლებით, არსებული პირობების გათვალისწინებით. ამ შემთხვევაში, როდესაც მაგნიტური ბლოკი ბრუნავს ვაკუუმის გარეთ არსებულ მაცივებელი სითხის გარემოსი სამიზნის ქვეშ, მის უშუალო სიახლოვეს, ვაკუუმში, სამიზნის ზედაპირთან მიმართებაში მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის პარალელობა შენარჩუნებულია, რაც საბოლოოდ გვამძლევს დისკური სამიზნის მთელ ზედაპირზე თანაბარი ეროზიული ზონის რეალიზაციას.

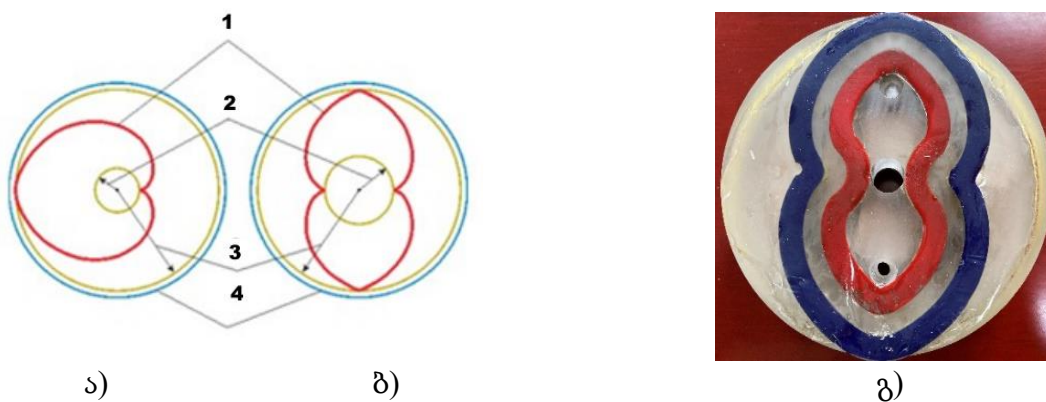


ნახ.1 ვაკუუმური გაფრქვევის მოწყობილობა PRMSD.

1 - კათოდური კვანძი, 2 - მაგნიტური ბლოკის ტურბინა, 3 - მუდმივი მაგნიტების მატრიცა, 4 - სამიზნე, 5 - ანოდი, 6 - მაგნიტოგამტარი, 7 - მუშა აირების (Ar, N₂, O₂) შესასვლელი, 8 - ვაკუუმური ტუმბოს შეერთების ადგილი, 9 - სუბსტრატი, A - მაცივებელი სითხის შესასვლელი, B - მაცივებელი სითხის გამოსასვლელი, C - გაფრქვეული ნაწილაკების მიმართულება.

აღმოჩნდა, რომ მაგნიტურ ბლოკში წრეწირის ევოლვენტა (1) იყო ყველაზე ოპტიმალური წირი და ამიტომ საპირისპირო პოლარობის მუდმივი მაგნიტების მატრიცა განთავსდა ამ წირის ორივე მხარეს გარკვეული თანაბარი დაშორებით. ამგვარად აეწყო მაგნიტური ბლოკი და ამ მაგნიტური ბლოკით მიღებული მაგნიტური ველის ბუნებამ შესაძლებელი გახადა სამიზნის ზედაპირის მაქსიმალური დაფარვა სკანირებით, სამიზნის მთელი ზედაპირის მაგნიტური ველის დაზაბულობის ვექტორთან მიმართებაში პარალელობის შენარჩუნებით. შესაბამისად, მივიღეთ ერთგვაროვანი ეროზიის ზონა გაფრქვეული დისკური სამიზნის ბრტყელი ფსკერით და მივაღწიეთ ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობას [17].

$$\varphi + C = \frac{\sqrt{r^2 - r_0^2}}{r_0} - \arccos \frac{r_0}{r} \quad (1)$$



ნახ. 2 (1) წრეწირის ევოლვენტის მათემატიკური გამოსახულება

ა), ბ) ჩაკეტილი მაგნიტური ველის კონფიგურაცია

ა) როდესაც $n = 1$ ბ) როდესაც $n = 2$

1 – წრეწირის ევოლვენტის წირი;

2- r_0 გაუფრქვეველი სამიზნის ზონის რადიუსი;

3 – სამიზნის შიდა რადიუსი r ;

4 – გაფრქვეული სამიზნის გარე წირი, რომლის რადიუსია R

გ) დამზადებული მაგნიტური ბლოკის ფოტო

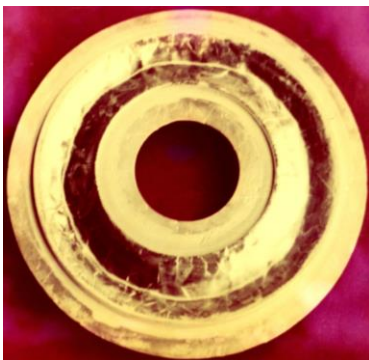
(1) წრეწირის ევოლვენტის გამოსახულებაში (1) φ და r არის წრეწირის ევოლვენტის მიმდინარე წერტილის კოორდინატები პოლარულ კოორდინატთა სისტემაში, რომლის პოლუსიც დისკური სამიზნის ცენტრშია; $2-r_0$ არის სამიზნის გაუფრქვეველი ზონის რადიუსი; C - მუდმივი კოეფიციენტი, რომელიც განისაზღვრება ევოლვენტას ჩაკეტილობის პირობიდან. 3- r სამიზნის შიდა რადიუსი. როდესაც $r = R$, $\varphi = \pi/n$, სადაც R არის გაფრქვეული სამიზნის გარე რადიუსი.

PMSD დიზაინში, მაგნიტური სისტემის საპირისპირო პოლუსის მქონე მაგნიტებს შორის მანძილი 15 მმ-დან 33 მმ-მდეა და დამოკიდებულია სამიზნის დიამეტრზე. საპირისპირო პოლუსებს შორის მანძილის შეცვლა ერთდროულად ცვლის მაგნიტური ველის კონფიგურაციას სამიზნის ზედაპირზე და გაფრქვევის ზონის იგივე „ელექტრონების სარბენი ბილიკის“ სიგანეს, მაგრამ ეს არ აუმჯობესებს პროცესის სტაბილურობას და შედეგად მიღებული მასალების ხარისხს.

4. კვლევის შედეგები

ინოვაციური PRMSD-ის შემთხვევაში, მაგნიტური მატრიცების საპირისპირო პოლუსებს შორის მანძილი 3 მმ-დან -10 მმ-მდეა (ნახ. 2 გ-ში მანძილი 5 მმ-ია), და მისი ცვლილება იწვევს სამიზნის ზედაპირზე მაგნიტური ველის კონფიგურაციის ცვლილებას ეროზიის ზონაზე ზემოქმედების გარეშე, რაც არის მაგნიტური ბლოკის ბრუნვის შედეგი [18]. ანუ, ჩვენი ინოვაციური მაგნიტრონის შემთხვევაში საპირისპირო პოლუსების მქონე მაგნიტების მატრიცებს შორის მანძილის რეგულირებით შეგვიძლია შევცვალოთ სამიზნე ზედაპირზე მაგნიტური ველის კონფიგურაცია ეროზიის ზონის შეცვლის გარეშე. ჩვენს შემთხვევაში, ბრუნვის სიჩქარისა და საპირისპირო პოლარობის მაგნიტების მატრიცებს შორის მანძილის შეცვლით, ჩვენ ვინარჩუნებთ პროცესების სტაბილურობას და მიღებული მასალების მაღალ ხარისხს. ეს ნიშნავს, რომ ჩვენ გვაქვს ორი ახალი ტექნოლოგიური პარამეტრი, კერძოდ, საპირისპირო პოლარობის მაგნიტების მატრიცებს შორის მანძილი და PRMSD-ის მაგნიტური ბლოკის ბრუნვის სიჩქარე.

ქვემოთ (ნახ. 3) ვხედავთ PMSD და PRMSD ტექნიკის გამოყენებით გაფრქვეულ დისკურ კათოდ სამიზნეებს, სადაც ჩანს როგორც ეროზიის ზონები, ასევე მასალის მოხმარების ეკონომიური ეფექტები, რაც ასახავს ტექნოლოგიური პროცესებისა და შედეგების სტაბილურობას. ეს იძლევა PRMSD ტექნიკის კომერციალიზაციის შესაძლებლობას [19].



ა)



ბ)

ნახ.3 PMSD(ა)-სთვის განკუთვნილი გაფრქვეული სამიზნის ვიწრო V-ფორმის პროფილი; PRMSD(ბ)-სთვის განკუთვნილი გაფრქვეული სამიზნის ბრტყელძირიანი პროფილი

ზემოთ აღწერილი ინოვაციური ტექნიკა-ტექნოლოგიის (PRMSD) გამოყენებით, მიკროელექტრონიკისთვის მივიღეთ თხელი მეტალის ფირები, კერძოდ: Al, Pt, TW, Ti და Ag, და ის წარმოებაში მრავალი წლის განმავლობაში გამოიყენებოდა.

დიელექტრიკის მისაღებად, აქტიურ გარემოში ვაკუუმურ კამერაში ინოვაციური PRMSD მოწყობილობის გამოყენებით, ჩავატარეთ Zr (99.999%) სამიზნის მაგნეტრონული გაფრქვევა (იხ. ნახ. 4).



ნახ.4 ნაწილობრივ გაფრქვეული Zr (99.999%) სამიზნე. დიამეტრი 100 მმ, სისქე 6 მმ

სამიზნის ზედაპირზე აქტიურ გარემოში აშკარად ჩანს ერთგვაროვანი გაფრქვევის ზონა. აქ არ ჩანს პლაზმური განმუხტვის კვალი, რომელიც ხშირად იწვევს დეფექტებს სუბსტრატზე მიღებულ დანაფარებზე. ვიზუალური დაკვირვებით ასევე არ ვლინდება განმუხტვის კვალი სამიზნეზე. შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ ჩვენს შემთხვევაში PRMSD-ით გაფრქვევის ზონაში პლაზმური განმუხტვის არსებობის მიზეზი აღმოფხვრილია. ასევე, მაგნიტური ბლოკის ბრუნვის რეჟიმში, ინტენსიური პლაზმა ფარავს მხოლოდ წრიული ანოდის ფრაგმენტებს, რომლებიც ასევე გადაადგილდებიან. ამ დროს ანოდის დანარჩენი ნაწილი ნულოვანი პოტენციალის მქონე არაინტენსიური პლაზმის ზემოქმედების ქვეშაა და უნდა ვივარაუდოთ, რომ ის ასრულებს ანოდის გაწმენდის ფუნქციას. შედეგად, ჩვენს ექსპერიმენტებში ანოდის გაქრობა არ შეინიშნება.

5. შემდგომი კვლევის განვითარების პერსპექტივები

PRMSD გამოყენების შედეგად აღინიშნა მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ეფექტი, ასევე ტექნოლოგიური პროცესების სტაბილურობა და მიღებული შედეგების მაღალი ხარისხი [20]. შესაბამისად, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია შევისწავლოთ აღნიშნული ინოვაციური ტექნიკა-ტექნოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობა და პერსპექტივები ისეთი გამოწვევების გადასაჭრელად, როგორიცაა თანამედროვე ოპტიკა, ელექტრონიკა, მედიცინა, განახლებადი ენერგეტიკა, ეკოლოგია და მეცნიერების თუ ტექნიკის სხვა დარგები.

6. დასკვნები

1. PRMSD-ს მაციებელი სითხე მიეწოდება სამრეწველო გამაგრებელი მოწყობილობის (CW-6000) მეშვეობით, არა მხოლოდ გაგრილების მიზნით, არამედ მაგნიტური ბლოკის ბრუნვაში მოსაყვანად;
2. მაგნიტური ბლოკის საპირისპირო პოლარობის მუდმივი ნეოდიმუმის მაგნიტების მატრიცა განლაგებულია მათემატიკური გამოთვლებით მიღებული წრეწირის ევოლვენტის გასწვრივ, ორივე მხარეს, მათ შორის 3-10 მმ დიაპაზონით დაშორების რეგულირების შესაძლებლობით;
3. მიღებულია ორი კონტროლირებადი პარამეტრი: ა) მაგნიტური ბლოკის ბრუნვის სიჩქარე და ბ) მაგნიტური ბლოკის მატრიცაში ურთიერთსაპირისპირო პოლარობის მაგნიტებს შორის მანძილი;

4. მიღწეულია ეკონომიკური ეფექტი (სამიზნის მასალები, დრო, შრომა);
5. შესაძლებელი ხდება ტექნოლოგიური პროცესების და მიღებული შედეგების სტაბილურობის მიღწევა;
6. არსებობს ჩვენს მიერ მოწოდებული ინოვაციური ტექნიკისა და ტექნოლოგიების საჭიროება და გამოყენების სფეროების სპექტრის გაფართოების შესაძლებლობა.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- 1) Corbani, J. (1975) Cathode sputtering apparatus, Patent USA 3 878 085, Priority 5/07/1973.
- 2) Chapin, J. (1979) Sputtering process and apparatus, Patent USA 4 166 018, Priority 31/01/1974.
- 3) Chapin, J. (1974) The planar magnetron, *Research Development*, 25 (1), 37-40.
- 4) Shin, S. J., Bae, J. H., Engwall, A. M., Bayu Aji, L.B., Baker, A. A., Taylor, G. V., et al (2024), Deposition of ultrathick heavy-metal alloys on rotating substrates by high-power impulse magnetron sputtering: Target erosion effects, *J. Appl. Phys.* 135, 035301, California 94550, USA. doi: 10.1063/5.0186803.
- 5) Handan Huang, Li Jiang, Yiyun Yao, Zhong Zhang, Zhanshan Wang, Runze Qi, (2021) Controlling Film Thickness Distribution by Magnetron Sputtering with Rotation and Revolution, *Coatings*, 11(5), <https://doi.org/10.3390/coatings11050599>
- 6) Bräuer, G. (2014), Films and Coatings: Technology and Recent Development, in Comprehensive Materials Processing, 4.03.6. Reactive Sputtering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.00403-9>.
- 7) Lenis, J.A., Bejarano, G., Rico, P., JGómez Ribelles, L. Bolívar, F.J., (2019), Development of multilayer Hydroxyapatite - Ag/TiN-Ti coatings deposited by radio frequency magnetron sputtering with potential application in the biomedical field, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 377, 124856. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.06.097>.
- 8) Nabeel, A., Khan, J., Vaigunthan, P., Mayada. A., Ashutosh, S., et al (2024), Recent Advances in Aluminum Nitride (AlN) Growth by Magnetron Sputtering Techniques and Its Applications, *This article belongs to the Special Issue Advanced Inorganic Semiconductor Materials*, 2nd Edition, <https://doi.org/10.3390/inorganics12100264>.
- 9) Karen, A., Neri, E., José, A., Andraca, A., Domínguez, C., Francisco, G., et al (2024), MnO/ZnO:Zn Thin-Film Frequency Adaptive Heterostructure for Future Sustainable Memristive Systems, *Nanomaterials* 2024, 14(8), 659. <https://doi.org/10.3390/nano14080659>
- 10) Young Hyun Jo, Cheongbin Cheon, Heesung Park & Hae June Lee (2023) Particle-in-Cell Simulations for the Improvement of the Target Erosion Uniformity by the Permanent Magnet Configuration of DC Magnetron Sputtering Systems, *Coatings* 2023, 13(4), 749, <https://doi.org/10.3390/coatings13040749>
- 11) Bibhuti B. Sahu, (2024), Overall aspect for designing magnetron sputtering plasma sources and their applications in the deposition of ITO films, Volume 14, Issue 5, *AIP Advances* 14, 050702, <https://doi.org/10.1063/6.0003496>
- 12) Xiang Dong, Yuanjie Su, Zhiming Wu, Xiangdong Xu, Zihao Xiang, Yuanlin Shi, Wenyu Chen, Jinhong Dai, Zhangying Huang, Tao Wang, Yadong Jiang, (2021), Reactive pulsed DC magnetron sputtering deposition of vanadium oxide thin films: Role of pulse frequency on the film growth and properties, *Applied Surface Science*, Vol. 562, 150138. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150138>
- 13) Xiang, D., Yuanjie, S., Zhiming, Wu., Xiangdong, Xu., Zihao, X., Yuanlin, Shi., et al (2021), Reactive pulsed DC magnetron sputtering deposition of vanadium oxide thin films: Role of pulse frequency on the film growth and properties, *Applied Surface Science* Vol. 562, 150138. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150138>

14) .Chang, Liu., Zhi, Zheng., Xing, Li., Yang, Wang., Xiang, Dong., Gaoshan, Huang., et al (2024), Low-temperature growth of high-quality VO₂ epitaxial film on c-plane sapphire by reactive magnetron sputtering, *Appl. Phys. Lett.* 125, 071904. <https://doi.org/10.1063/5.0219061>

15) Berishvili, Z., Gadakhadze, I., Dekanozishvili, G., Kipiani, M., Kordzakhia, I., Skhiladze, G. (2023), Research and Development of an Innovative Planar-Rotational Magnetron Sputtering Device for Obtaining Advanced Materials, *BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*, vol. 17, no. 2, pp 51-57.

16) Беришвили,З.В., Схиладзе,Г.А., Шиошвили,Ш.И. (1983) А.с. 1160761, Устройство ионно-плазменного распыления в вакууме.

17) Беришвили,З.В., Гадахабадзе,И.Г., Схиладзе,Г.А., Шиошвили,Ш.И., (1984) А.с. 1244960, Устройство ионно-плазменного распыления материалов в вакууме.

18) ბერიშვილი, ზ, (2016) პლანარული მაგნეტრონული გაფრქვევის მოწყობილობა, საქართველოს პატენტი GE P 2016 6512 B, Appl. for International Patent, WIPO|PCT, WO 2016/189337 A1, Appl. of India Patent, № 201717040689.

19) Kipiani, M.J. (2020) Planar reactive magnetron sputtering to obtain dielectrics and transparent conductive thin films, *International Journal of New Technology and Research (IJNTR)*, 6, Issue-6: 45-50. <https://doi.org/10.31871/IJNTR.6.6.11.19>.

20) Berishvili, Z., Gadakhadze, I., Kordzakhia, I., Dekanozishvili G. (2017) Planar magnetron sputtering device: a new generation of magnetron sputtering design and technology, *Journal of Physical Science and Application*, 7 (5): 28-39, USA. <https://doi.org/10.17265/21595348/2017.05.003>

Innovative planar - rotational magnetron spraying device modern mono and multicomponent coverings for synthesis

Zaur Berishvili

LEPL Institute „Optica”, Tbilisi, Georgia, Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

Marina Kipiani

LEPL Institute „Optica”, Tbilisi, Georgia, Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia
ORCID: 0000-0002-6306-068X

Iuri Papava

Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia

Bela Kvirkvelia

Materials Research Institute at TSU, Tbilisi, Georgia
ORCID: 0000-0002-7470-1980

Abstract: In optics , electronics , medicine , renewable In energy , ecology And Existing in other fields of science or technology Challenges today requires that By them Used Materials to have Special Features, quality And To achieve economic Efficiency . Accordingly , it acquires special importance. Innovative , ecologically Clean High Technology Development And Their For commercialization Promotion . In a vacuum Magnetron Spraying The very technologies In line Belongs to , whose Meaning Especially It was revealed Modern In the presence of challenges . The same is indicated by scientific Literature Review also . Researchers Vacuum In the environment Stationary planar magnetron Spraying At the time Thin With the receipt of the deposits Regarding Important Difficulties are faced with . A detailed study of this technique-technology allows for a logical explanation of the existing difficulties. This Difficulties Includes Significant changes observed during production processes Economic Losses And as Technological processes, as well as the resulting

Results instability , which It is unambiguously determined by the target. Spraying Zone Inhomogeneity. The inhomogeneity of the sputtering zone, in turn, is caused by the specific configuration of the magnetic field on and near the target surface and its static nature. In this article, we will discuss an innovative solution related to the technology of planar magnetron sputtering in vacuum. We present a planar-rotary magnetron sputtering device that can successfully solve the difficulties faced by magnetron sputtering in vacuum and, accordingly, make a breakthrough in materials science, especially in the direction of the synthesis of mono- and multi-component thin coatings.

Keywords: Magnetron, vacuum, target, erosion, circular involute, substrate

Introduction
