

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

ფიზიკა

თორნიკე ჭაბუკიანი

LSCO მაღალტემპერატურული ზეგამტარის მიღება
ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის მეთოდით და მისი
თვისებების კვლევა

I კოლოქიუმი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ა. შენგელაია

ფიზ. მათ. მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

თბილისი 2019 წელი

ანოტაცია

მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების მიღება, მათი შესწავლა და წარმოებაში დანერგვა, თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულებას წარმოადგენს. დღეისათვის მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების მიღება უმეტეს შემთხვევაში ხდება მყარსხეულოვანი რეაქციების მეშვეობით. ეს ტექნოლოგია გულისხმობს კარგად შერეული საწყისი რეაგენტების (ფხვნილების) ხანგრძლივ (ათეული - ასეული საათი) თერმულ გამოწვას ღუმელში, მაღალ ($800 - 1200^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურებზე, რომლის დროს მიმდინარეობს მყარფაზოვანი სინთეზის რეაქცია. პროცესი ძალიან ხანგრძლივი და ენერგოტევადია, რაც ზრდის პროდუქტის ღირებულებას. გარდა ამისა, ხანგრძლივ გამოწვას თან ახლავს ცალკეული კომპონენტების აორთქლება, რის გამოც ირღვევა სტექიომეტრია. ასევე ზოგიერთი მასალებისათვის მაღალტემპერატურული გამოწვა იწვევს კომპოზიტიში ჟანგბადის ნაკლებობას. ნაშრომში აღწერილია მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების მიღების მყარსხეულოვანი რეაქციის ჩატარების ახალი ტექნოლოგია, რომელიც დაახლოებით ორი-სამი რიგით ამცირებს პროცესის ხანგრძლივობას და შესაბამისად მინიმუმამდე დაყავს ხანგრძლივი თერმული დამუშავების თანმხლები უარყოფითი ეფექტები. ტექნოლოგია დაფუძნებულია საწყისი რეაგენტების ინტენსიური იმპულსური ფოტონური დასხივების პრინციპზე, ინფრაწითელ და ულტრაიისფერ დიაპაზონში. აღნიშნული მეთოდის განსახორციელებლად საჭიროა, მოხდეს ფოტონური ზემოქმედების სპექტრის, დასხივების ექსპოზიციის ხანგრძლივობისა და გეომეტრიის, ნიმუშის გაცხელების ტემპერატურის, ადიტიურობის ფაქტორების გავლენის დადგენა სინთეზირებული მასალების ძირითად მახასიათებლებზე (ზეგამტარული გადასვლის ტემპერატურა - T_c , კრიტიკული დენი - I_c , ნიმუშის ერთგვაროვნება, ფაზური შემადგენლობა და სხვა). უნდა განხორციელდეს მასალებში სინთეზის განხორციელების ოპტიმალური რეჟიმების დადგენა, ტექნოლოგიური მარშრუტების (ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩატარების ხერხები, რეჟიმები და თანმიმდევრობა) შემუშავება. დროისა და ენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვანი შემცირებით დაიკლებს მიღებული მაღალტემპერატურული ზეგამტარების ღირებულება. კონკრეტულად ნაშრომის მოცემულ ნაწილში განხილული იქნება $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO)-ს მიღების პროცესები და შესაბამისი კვლევის შედეგები.

Abstract

The synthesis of high-temperature superconductors, their investigation and application is one of the most important directions of modern science and technology. Today high-temperature superconductors are usually obtained through solid state reactions. This method implies continuous (for tens or hundreds of hours) heating of reactants in powder form at high temperatures (800-1200 °C) in furnace. This process consumes a lot of time and energy, which increases product costs. Moreover, during the long-term high temperature synthesis some of the components evaporate, which leads to change in stoichiometry. Further, high-temperature treatment causes oxygen deficiency in obtained materials and additional processing stage must be carried out to restore oxygen content for some oxygen-content sensitive compounds. In this work it is discussed to develop new technology of photostimulated solid state synthesis of high-temperature superconductors. This technology will reduce the synthesis duration by approximately three orders of magnitude, energy consumption and will minimize the negative effects which accompanying lengthy thermal processing. The technology is based on the principle of intensive pulse photon irradiation of basic reactants in a broad spectral range from infrared to ultraviolet. The influence of photon spectral distribution, duration and geometry of irradiation exposure, heating temperature and additive effects on major physical characteristics of synthesized materials (superconducting transition temperature, critical current, sample homogeneity, phase composition, etc.) will be studied. Optimal regimes for synthesis of high-temperature superconducting materials and corresponding technological routes (the manner, regimes and order of technological operations) will be established. Drastic reduction of synthesis time and energy can lead to substantial decrease of high-temperature superconducting materials production costs. Specifically, in this section of the work will be discussed about synthesis of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) and the results of the research.

სარჩევი

შესავალი	5
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) მაღალტემპერატურული ზეგამტარი	8
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LASCO) ზეგამტარი ნიმუშების მიღება სტანდარტული მეთოდით.....	9
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) ზეგამტარი ნივთიერების მიღება ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის მეთოდით	10
შედეგები და კვლევის შესაძლო გაგრძელების გზები	15
გამოყენებული ლიტერატურა	16

შესავალი

თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებისათვის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულებას წარმოადგენს მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების მიღება, მათი შესწავლა და წარმოებაში დანერგვა, რაც დიდი წინ გადადგმული ნაბიჯია კაცობრიობის მთლიანი პროგრესის საქმეში. მაღალტემპერატურული ზეგამტარების გამოყენება ძალიან პერსპექტიულია ენერგეტიკაში, ვინაიდან ელექტრული დენის გადაცემა შესაძლებელი იქნება ყოველგვარი დანაკარგების გარეშე. სამედიცინო სფეროში - მაგნიტორეზონანსული აპარატების მუშაობა შეუძლებელია ზეგამტარული კოჭების გარეშე, რომლებიც გენერირებენ დიდი დამაბულობის მქონე მაგნიტურ ველს. ასევე კვანტური კომპიუტერების სტაბილური მუშაობა შეუძლებელია ზეგამტარი მასალების გამოყენების გარეშე. პირველად მაღალტემპერატურული ზეგამტარობა აღმოჩენილი იყო ნობელის პრემიის ლაურეატების გეორგ ბედნორცის და ალექს მიულერის მიერ. დღეისათვის მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალების მიღება უმეტეს შემთხვევაში ხდება მყარსხეულოვანი რეაქციების მეშვეობით. ეს ტექნოლოგია გულისხმობს კარგად შერეული საწყისი რეაგენტების (ფხვნილების) ხანგრძლივ (ათეული - ასეული საათი) თერმულ გამოწვას ღუმელში, მაღალ (800–1200°C) ტემპერატურებზე, რომლის დროს მიმდინარეობს მყარფაზოვანი სინთეზის რეაქცია [1]. პროცესი ძალიან ხანგრძლივი და ენერგოტევადია, რაც ზრდის პროდუქტის ღირებულებას. გარდა ამისა, ხანგრძლივ გამოწვას თან ახლავს ცალკეული კომპონენტების აორთქლება, რის გამოც ირღვევა სტექიომეტრია. ასევე ზოგიერთი მასალებისათვის მაღალტემპერატურული გამოწვა იწვევს კომპოზიქტში ჟანგბადის ნაკლებობას და აჩენს დამატებითი ხანგრძლივი პროცედურების ჩატარების აუცილებლობას, რათა აღდგეს ჟანგბადის საჭირო შემცველობა. მართალია, არსებობს მყარსხეულოვანი სინთეზის პროცესის ხანგრძლივობის შემცირების რიგი მცდელობები, მაგალითად, როდესაც YBCO(123) ზეგამტარის სინთეზი მოხდა მიკროტალღურ ღუმელში 3,5 საათის განმავლობაში, მაგრამ მიღებული ნიმუშის ხარისხი აღმოჩნდა ძალიან დაბალი [2].

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ფოტოსტიმულირებული პროცესები ეფექტურად გამოიყენება ნახევარგამტარული ელექტრონიკის ტექნოლოგიებში (ომური კონტაქტების შექმნა, p-n გადასასვლელების ფორმირება, ამორფული ფენების კრისტალიზაცია და ა. შ.). მრავალი ექსპერიმენტი მიუთითებს იმაზე, რომ ფოტოსტიმულირებული დიფუზიის სიჩქარე მრავალი რიგით აღემატება თერმოსტიმულირებული დიფუზიის სიჩქარეს და ამცირებს პროცესის ჩატარებისათვის აუცილებელი ტემპერატურის სიდიდეს [3-5]. ბუნებრივად დგება საკითხი, მყარსხეულოვან რეაქციაში თერმოსტიმულირებული დიფუზიის, ფოტოსტიმულირებული დიფუზიით ჩანაცვლების შესახებ. დღეისათვის ფოტონური

დასხივების გავლენა მყარსხეულოვანი რეაქციის მიმდინარეობაზე ნაკლებად არის დადგენილი და ნაშრომის ერთ-ერთი მთავარი მიზანი ამ პროცესების შესწავლაა.

რამოდენიმე წლის წინ, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის, კონდენსირებული გარემოს ფიზიკის კათედრის სამეცნიერო-კვლევით ლაბორატორიაში წარმატებით იქნა სინთეზირებული ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის საშუალებით მაღალტემპერატურული ზეგამტარები $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) და $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO(123)) [6,7]. აღმოჩნდა, რომ აღნიშნული სინთეზისას მიმდინარე რეაქციის სიჩქარე დაახლოებით სამი რიგით აღემატება ჩვეულებრივი თერმული მყარსხეულოვანი რეაქციის სიჩქარეს და ზეგამტარი ფაზის მაღალი მოცულობა მიიღება ათეულ წამებში, ათეული საათების ნაცვლად. ეს ხსნის საკმაოდ პერსპექტიულ გზას მთელი რიგი მნიშვნელოვანი მასალების სინთეზის ახალი, ინოვაციური ტექნოლოგიის დამუშავებისაკენ.

კვლევის პირველ ნაწილში მოხდა $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO)-ს მიღება და მისი თვისებების შესწავლა. კვლევის პროცესში გამოყენებულ იქნა ფოტონური დასხივების დანადგარი MILA 5000, რომელსაც შეუძლია ინფრაწითელ და ხილულ დიაპაზონში მოხდინოს ნიმუშების დასხივება ჰალოგენური ნათურების საშუალებით და კონდენსირებული გარემოს ლაბორატორიაში შექმნილი დანადგარი PPT1-5, რომელიც ნიმუშების ინფრაწითელ, ხილულ და ულტრაიისფერ დიაპაზონებში ერთდროულად დასხივების საშუალებას იძლევა. სინთეზირებული ზეგამტარი მასალების ყველაზე მნიშვნელოვანი დამახასიათებელი სიდიდეებია: ზეგამტარი გადასვლის კრიტიკული ტემპერატურა T_c , კრიტიკული დენის სიმკვრივე J_c , ნიმუშის ერთგვაროვნება, ფაზური შემადგენლობა და მარცვლების სტრუქტურა. აქედან პირველი სამი პარამეტრის დადგენა შესაძლებელია მაგნიტური თვისებების გაზომვით.

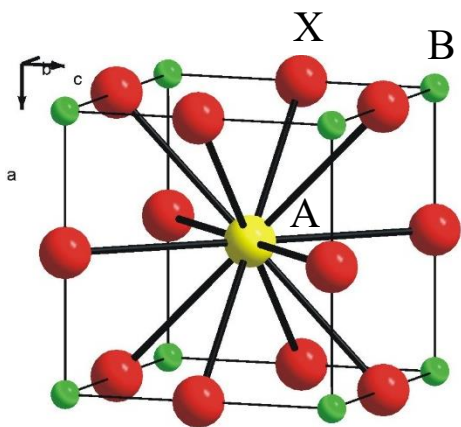
მაგნიტური გაზომვები ჩატარდა CRYOGENIC Ltd ფირმის ვიზრაციულ მაგნიტომეტრზე, რომელიც მუშაობს 2-300 K ტემპერატურულ შუალედში და მაგნიტურ ველებში 5T-მდე. გასაზომი ნიმუშების გაცივება ხდება 4-5 K ტემპერატურემდე ნულოვან მაგნიტურ ველში, შემდეგ ნიმუშზე მოედება მაგნიტურ ველი 20 G და იზომება მაგნიტური მომენტის ცვლილება გათბობის პროცესში (Zero Field Cooling-ZFC პროცესი). თუ ნიმუში ზეგამტარია, მაშინ წარმოიქმნება ეკრანირების ეფექტით გამოწვეული უარყოფითი მაგნიტური მომენტი, რომელიც ნიმუშის გათბობისას ქრება გადასვლის კრიტიკულ ტემპერატურაზე T_c . უარყოფითი დიამაგნიტური მომენტის სიდიდე გვაძლევს ინფორმაციას ზეგამტარი ფაზის მოცულობის შესახებ. ამიტომ დამაგნიტების, როგორც ტემპერატურის ფუნქციის გაზომვა იძლევა საშუალებას დადასტურდეს ზეგამტარობა ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის შედეგად მიღებულ ნიმუშებში, გაიზომოს გადასვლის კრიტიკული ტემპერატურა და ზეგამტარი ფაზის ხვედრითი წილი. გამოყენებითი თვალსაზრისით ზეგამტარი მასალის მეორე მნიშვნელოვანი პარამეტრი არის

კრიტიკული დენის სიმკვრივე J_c . ეს პარამეტრი დადგინდება დამაგნიტების ჰისტერეზისის მრუდიდან, ზეგამტარ მდგომარეობაში დამაგნიტების, როგორც მაგნიტური ველის ფუნქციის გაზომვებიდან. სინთეზირებული ნიმუშების ფაზური შემადგენლობა დადგინდება რენტგენოდიფრაქციული მეთოდით.

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) მაღალტემპერატურული ზეგამტარი

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) არის მეორე გვარის მაღალტემპერატურული ზეგამტარი, რომელიც კუპრატების კლასის კერამიკულ ნივთიერებას წარმოადგენს (ნახ.1). მისი სტრუქტურა პეროვსკიტის ტიპისაა (ნახ. 2). პეროვსკიტი არის ნივთიერება, რომელიც შედგება $X = \text{O}^{2-}, \text{F}^-, \text{Cl}^-$, $A = \text{ტუტე}, \text{ტუტე-მიწათა}, \text{იშვიათ მიწათა მეტალებისა და } B = \text{გარდამავალი მეტალები } \text{Si, Al, Ge, Ga, Bi, Pb} \text{ და ასე შემდეგ.}$

1986 წელს მიულერმა და ბედნორცმა შექმნეს პირველი ზეგამტარი $(\text{LaBa})_2\text{CuO}_4$, რომლის კრიტიკული ტემპერატურაა 35K. ამ აღმოჩენისთვის მათ ნობელის პრემია დაიმსახურეს ფიზიკის დარგში. თუ მოცემულ ნივთიერებაში ბარიუმს ჩავანაცვლებთ სტრონციუმით ვიღებთ ოდნავ მაღალ კრიტიკულ ტემპერატურას,

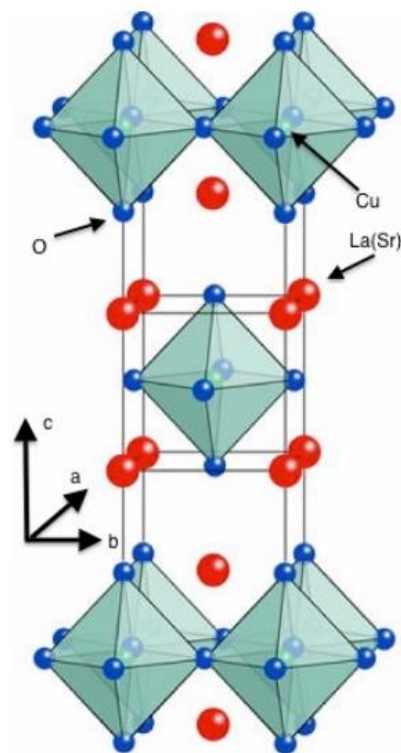


ნახ. 2

რაც დამოკიდებულია სტრონციუმის რაოდენობაზე LSCO-ში (ნახ.3).

ვინაიდან LSCO-ს ზეგამტარული პარამეტრები კარგადაა შესწავლილი გადაწყდა, რომ მისი მიღება ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის შედეგად გამართლებულია. ახალი მეთოდით მიღებული შედეგები ადვილად შედარდება ცნობილ მონაცემებთან, რაც ჩატარებული ექსპერიმენტების სამეცნიერო

ღირებულებას მკაფიოდ წარმოაჩენს.

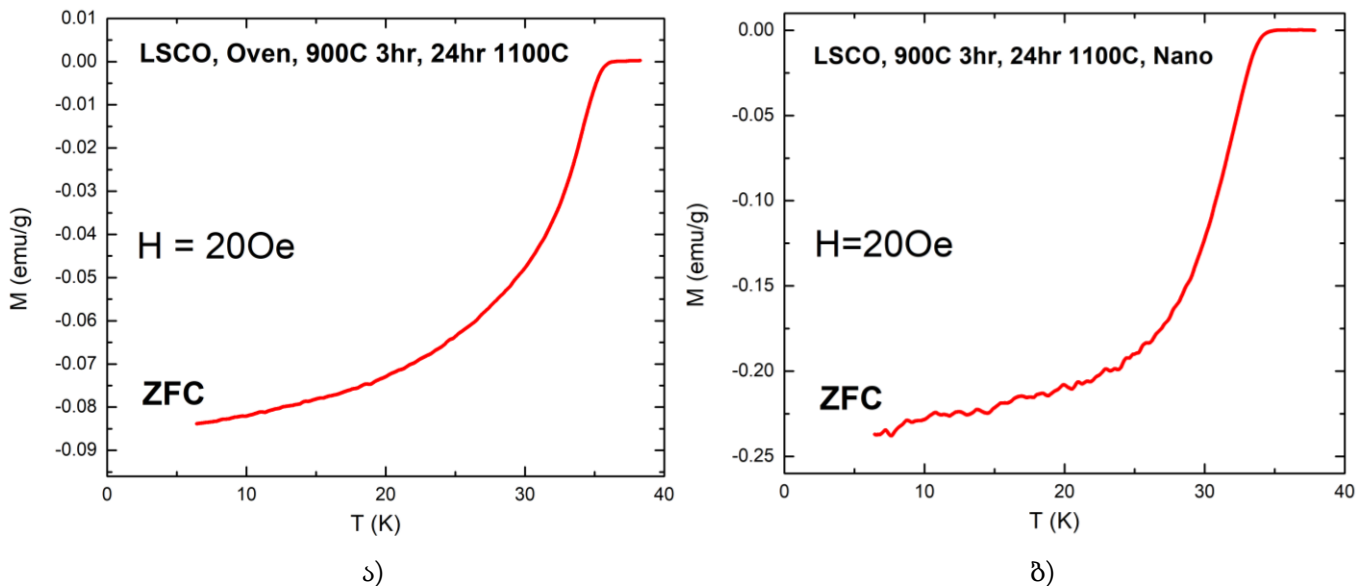


ნახ. 1

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LASCO) ზეგამტარი ნიმუშების მიღება სტანდარტული მეთოდით

ექსპერიმენტისათვის მომზადდა დამზადდა ნარევი ორი ხერხით: 1) რეაგენტების შერევა მოხდა ხელით და 2) რეაგენტების შერევა მოხდა ნანო წისქვილის საშუალებით შემდეგი დაფქვის პარამეტრების მიხედვით: 850ბრუნი/წუთში, 5 წუთი საათის ისრის მიმართულებით, 5 წუთი საათის ისრის საწინააღმდეგოდ. ხანგრძლივობა

ორივე ხერხით მიღებული ნარევი გამოიწვა სტანდარტული მეთოდით, ღუმელში შემდეგი რეჟიმის მიხედვით: 900°C ტემპერატურა 3 საათის განმავლობაში, შემდეგ 1100°C ტემპერატურა 24 საათის განმავლობაში. (ნახ. 3 ა,ბ). მიღებული ნიმუშები გაიზომა ვიბრაციულ მაგნიტომეტრზე, $H = 20\text{Oe}$ მუდმივ მაგნიტურ ველში და დადგინდა ზეგამტარული პარამეტრები - კრიტიკული ტემპერატურა T_c და ზეგამტარი ფაზის მოცულობა V_{sc} .

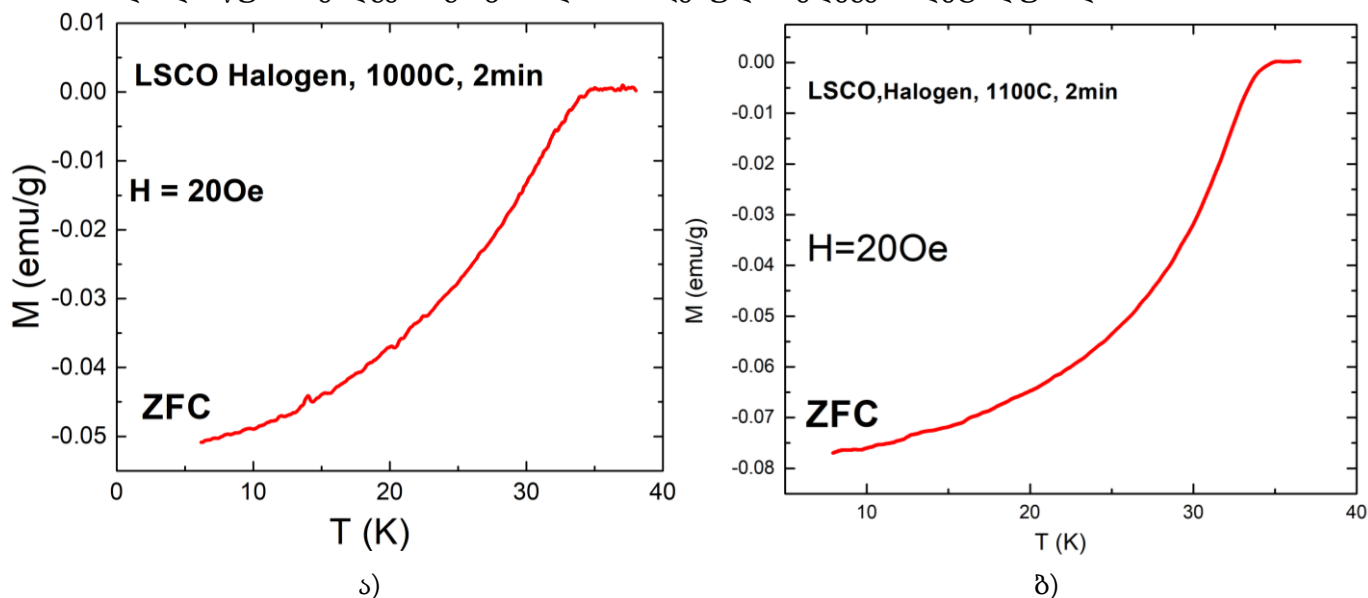


ნახ. 3

მიღებული ზეგამტარი ნიმუშები აღმოჩნდა მაღალი ხარისხის. კრიტიკული ტემპერატურა $T_c = 34\text{K}$ ძალიან ახლოსა ოპტიმალურ მაჩვენებელთან. ზეგამტარი ფაზის მოცულობა ხელით შერეული ნიმუშისათვის სტანდარტული მაჩვენებლის 40%-45%-ის ფარგლებშია, ხოლო ნანო წისქვილზე დაფქვილი ფხვნილით დამზადებული ნიმუშის ზეგამტარი ფაზის მოცულობა ახლოსაა 100%-თან. ეს შედეგი ძალიან საინტერესოა, ვინაიდან ასეთი მაღალი ფაზის მოცულობა ლიტერატურაში ცნობილი არ არის. ამიტომ ამ მიმართულებით კვლევა გეგმავდება. LSCO-ს მიღება სტანდარტული მეთოდით განხორციელდა, რათა ფოტოსტიმულირებული მყარხელოვანი რეაქციის შედეგად მიღებულ ნიმუშებთან შედარების საშუალება ყოფილიყო შესაძლებელი.

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) ზეგამტარი ნივთიერების მიღება ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის მეთოდით

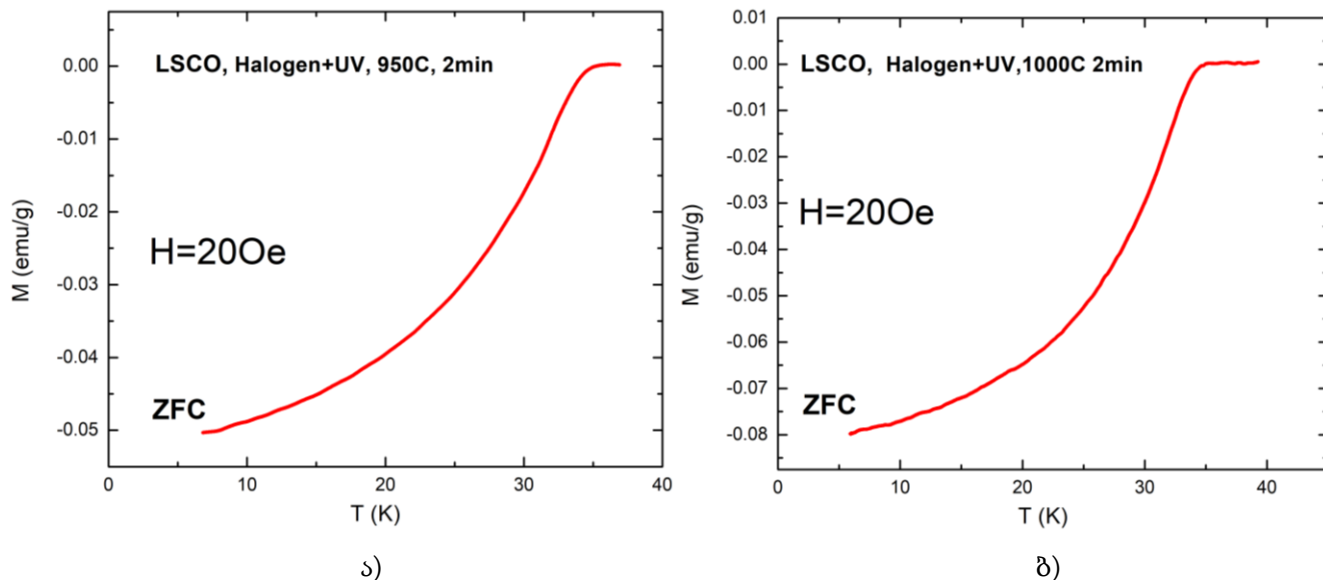
ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქცია ხორციელდება სინათლის ინტენსიური დასხივებისას, სხვადასხვა დიაპაზონის გამოყენებით. აღმოჩნდა, რომ სინათლით დასხივება საგრძნობლად ზრდის მყარსხეულოვანი რეაქციის სიჩქარეს და რიგ შემთხვევებში დაბლა სწევს რეაქციის ტემპერატურას. ექსპერიმენტების დროს გამოყენებული იყო ჰალოგენური ნათურები, რომლებიც საშუალებას იძლევა დასხივება განხორციელდეს ინფრაწითელ და ოპტიკურ დიაპაზონში, ხოლო ულტრაიისფერი გამოსხივების ნათურებით შესაძლებელია ულტრაიისფერი დიაპაზონის გამოსხივების მიღება. შესაბამისად, ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო როგორც მხოლოდ ჰალოგენური, ისე ჰალოგენური და ულტრაიისფერი ნათურების კომბინაცია. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები ძალიან საინტერესოა იმ თვალსაზრისით, რომ გამოყენებული გამოსხივების დიაპაზონის მიხედვით იცვლება მყარსხეულოვანი რეაქციის როგორც სიჩქარე, ისე მისი განხორციელების ტემპერატურა. გარდა ამისა განსხვავებულია მიღებული ნიმუშის ზეგამტარი ფაზის მოცულობებიც. აღსანიშნავია, რომ სტანდარტული მეთოდისგან განსხვავებით, ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის სიჩქარე მკვეთრად განსხვავებულია და მხოლოდ 2 წუთს შეადგენს. განვიხილოთ მიღებული შედეგები დეტალურად.



ნახ. 4

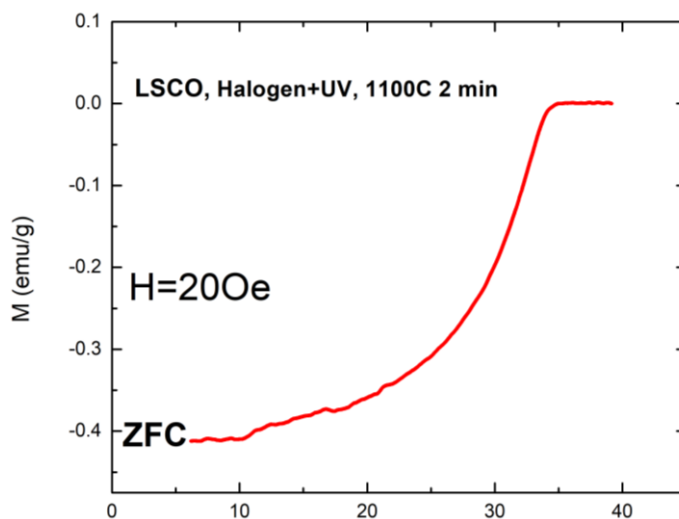
მხოლოდ ჰალოგენური ნათურების გამოყენებით ჩატარებულ დასხივების ექსპერიმენტებში ზეგამტარი ფაზის ჩამოყალიბება იწყება 950C ტემპერატურიდან, მაგრამ ფაზის მცირე მოცულობით (<2%-ზე). დასხივების დრო შეადგენს 2 წუთს. იმავე დროში 950C ტემპერატურაზე ღუმელში გამოწვისას ზეგამტარი ფაზის ჩამოყალიბება არ ხდება. 1000C და

1100C ტემპერატურებზე კი ზეგამტარი ფაზის მოცულობა მკვეთრად იმატებს და ძალიან ახლოსაა ოპტიმალურ 40%-იან მნიშვნელობასთან (სურ 4 ა, ბ).



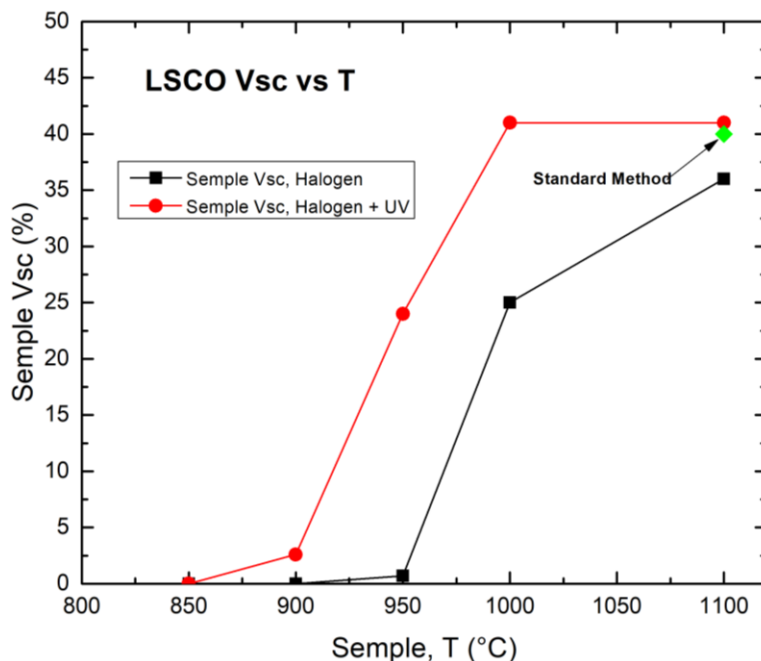
ნახ. 5

სიტუაცია საგრძნობლად იცვლება, როცა სინათლის დასხივება მიმდინარეობს ჰალოგენური და ულტრაიისფერი ნათურების კომბინირებული სინათლით. ამ შემთხვევაში ზეგამტარი ფაზის ფორმირება იწყება 900C ტემპერატურიდან, მაგრამ ფაზის მოცულობა აქაც ძალზე მცირეა (<2%-ზე). სამაგიეროდ ზეგამტარი ფაზის მოცულობა საგრძნობლად იზრდება 950C და 1000C ტემპერატურებზე (ნახ. 5 ა, ბ), ხოლო 1100C ტემპერატურაზე (ნახ.6) ცვლილება უმნიშვნელოა. ეს მოსალოდნელიც იყო, რადგან მაღალ ტემპერატურაზე ზეგამტარი ფაზის მოცულობა ნაჯერობის მდგომარეობაშია და შეესაბამება ოპტიმალურ მნიშვნელობას.



ნახ. 6

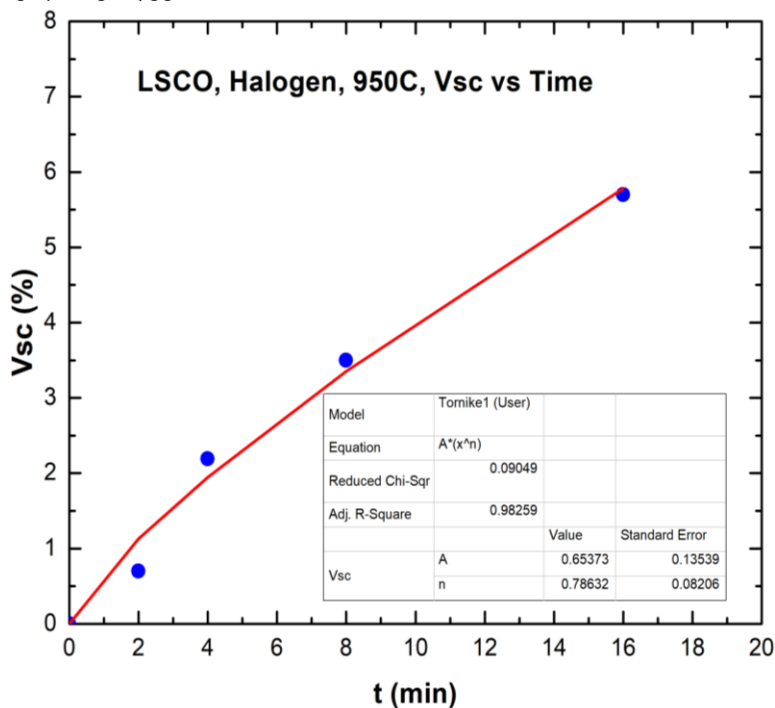
ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად შესაძლებელია ითქვას, რომ ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქცია საგრძნობლად აჩქარებს ზეგამტარი ფაზის ჩამოყალიბებას და უზრუნველყოფს ოპტიმალური ხარისხის ნიმუშის მიღებას ძალიან მოკლე დროში. სინათლის დასხივების გავლენა მყარსხეულოვანი რეაქციის მიმდინარეობაზე კვლევის საგანია და პროცესის მიმდინარეობისას მომხდარი პროცესები, ჯერ-ჯერობით, ზუსტად არ არის დადგენილი. მიუხედავად ამისა, მეთოდის უპირატესობა ნათელია სტანდარტულთან შედარებით (ნახ. 7).



ნახ. 7

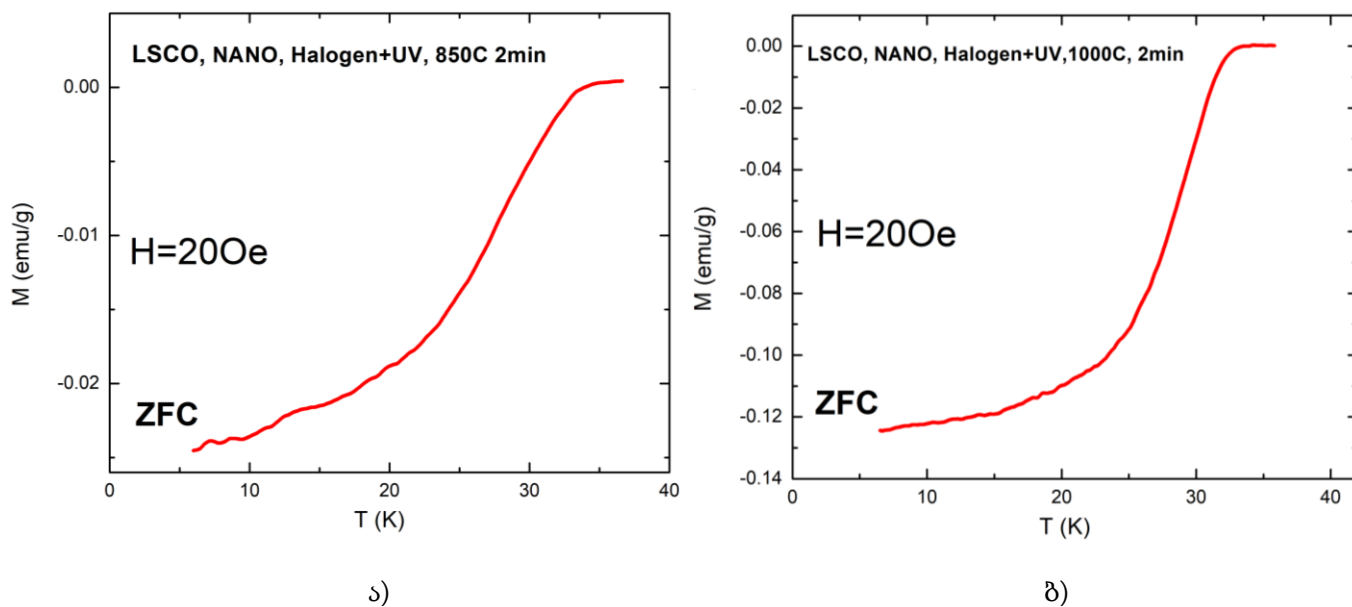
სინათლის დასხივების ეფექტი მყარსხეულოვანი რეაქციის მიმდინარეობისას თვალში საცემი აღმოჩნდა. შესაბამისად გადაწყდა დამატებითი ექსპერიმენტების ჩატარება ზეგამტარი ფაზის მოცულობის რეაქციის დროზე დამოკიდებულების გასარკვევად. ექსპერიმენტისთვის შეირჩა ხელით შერეული საწყისი პრეკურსორებისგან მიღებული ნარევი, დასხივების ტემპერატურა შეადგენდა 950C, ხოლო დასხივება მოხდა მხოლოდ ჰალოგენური ნათურების გამოყენებით. სტანდარტული, თერმული ზემოქმედებით მიმდინარე რეაქციისას, ცნობილია, რომ ზეგამტარი ფაზის მოცულობის რეაქციის დროზე დამოკიდებულებას აქვს ზოგადი სახე: $V_{sc} = AT^n$, სადაც A პროპორციულობის კოეფიციენტია, T -ტემპერატურა. სტანდარტულ შემთხვევაში ხარისხის მაჩვენებელი $n=0.5$, ხოლო ჩატარებული ექსპერიმენტების მიხედვით,

ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის მეთოდით მიღებულ ნიმუშისთვის ხარისხის მაჩვენებელი შეადგენს 0.7-ს (ნახ. 8).



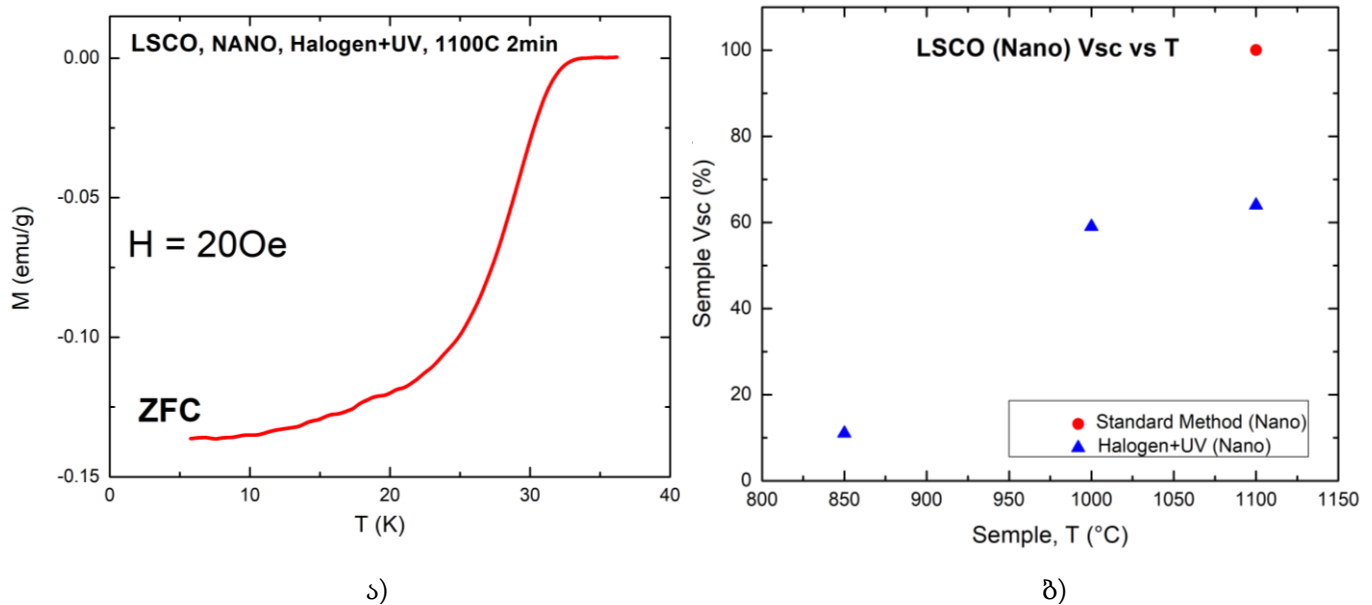
ნახ. 8

მიღებული შედეგიდან შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ სინათლის დასხივების პროცესში, გარდა დიფუზიური პროცესებისა, დამატებითი მექანიზმიც იქნეს თავს, რომელიც შემდგომი კვლევის საგანია და მკვეთრ გავლენას ახდენს მყარსხეულოვანი რეაქციის მიმდინარეობის სიჩქარესა და ტემპერატურაზე.



ნახ. 9

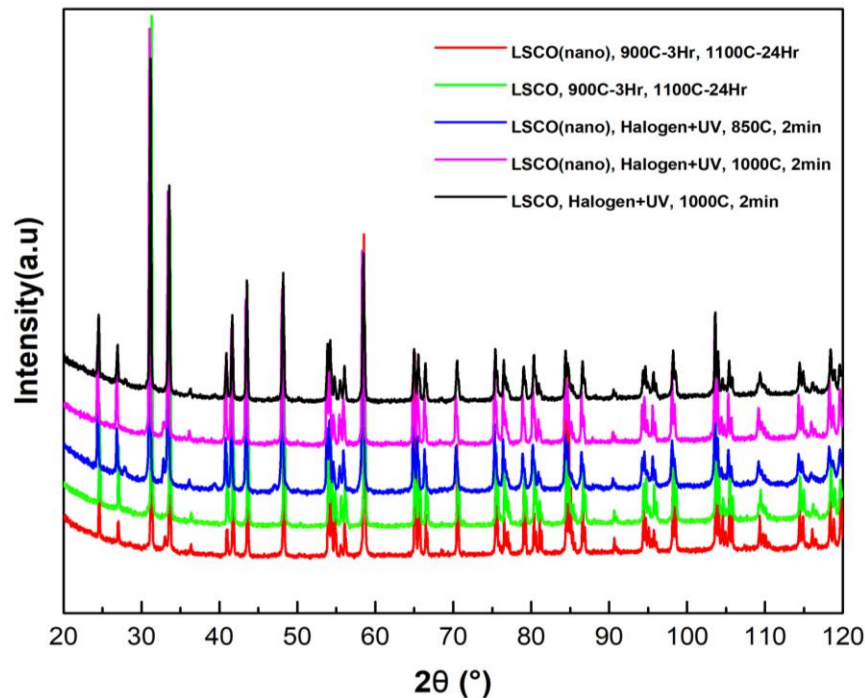
ცალკე აღნიშვნის ღირსია ნანო წისქვილზე დამუშავებული პრეკურსორების შერევით მიღებული ნიმუშების თვისებები. ექსპერიმენტების მსვლელობისას დასხივების პროცესები მიმდინარეობდა ჰალოგენური და ულტრაიისფერი ნათურების კომბინირებული გამოყენებით, ხოლო დასხივების დრო შეადგენდა 2 წუთს. საინტერესოა, რომ ზეგამტარი ფაზის ჩამოყალიბება იწყება 850C



ნახ. 10

ტემპერატურიდან, სადაც ფაზის მოცულობა, მნიშვნელოვნად მაღალი , 11%-15%-ია(ნახ. 9,ა). ფაზის მოცულობა მკვეთრად მატულობს 1000C ტემპერატურაზე (ნახ. 8,ბ) და ლიტერატურაში ცნობილ მონაცემს საგრძნობლად აღემატება, ამ შემთხვევაში $V_{sc} = 60\%$, ხოლო 1100C გრადუსზე კიდევ უფრო მეტია და შეადგენს $V_{sc} = 65\%$ -ს(ნახ. 910 ,ა).

მიღებული შედეგებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საწყისი პრეკურსორების დაფქვა მცირე ზომის ნაწილაკებამდე, ზრდის რეაქციის სიჩქარეს, რაც ცნობილი ფაქტია, ვინაიდან იზრდება რეაგენტების შეხების ფართობი, მაგრამ ზეგამტარი ფაზის მოცულობის მკვეთრი ზრდა (100% სტანდარტული მეთოდის შემთხვევაში) სიახლეს წარმოადგენს და შემდგომ კვლევებს საჭიროებს (ნახ. 10,ბ).



ნახ. 11

მიღებული ნიმუშების რენტგენულ-დიფრაქციულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ნიმუშებში ჩამოყალიბებულია LSCO-ს შესაბამისი სტრუქტურა. რამოდენიმე ნიმუშის გაზომვის შედეგი მოყვანილია ნახატ 11-ზე.

შედეგები და კვლევის შესაძლო გაგრძელების გზები

ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის შედეგად მიიღება მაღალი ხარისხის მაღალტემპერატურული ზეგამტარი ნივთიერება. რეაქციის პროცესი მცირდება მკვეთრად: ათეული საათების ნაცვლად, შედეგი მიიღწევა რამდენიმე წუთში. მიღებული ნიმუშების კრიტიკული ტემპერატურა არ მცირდება, ხოლო ფაზის მოცულობა რიგ შემთხვევებში აჭარბებს ლიტერატურაში ცნობილ, სტანდარტული მეთოდით მიღწეულ მაჩვენებლებს.

ამ მიმართულებით მომავალში იგეგმება კვლევის გაგრძელება, რაც გულისხმობს სხვა მაღალტემპერატურული ზეგამტარი ნივთიერებების სინთეზს ფოტოსტიმულირებული მყარსხეულოვანი რეაქციის გამოყენებით. ასევე, შესაძლებელია გამოვიკვლიოთ ზეგამტარი და მაღალი დიელექტრიკული შეღწევადობის მქონე ნივთიერებების კომპოზიტური ნარეგები, სადაც ვვარაუდობთ, რომ შესაძლებელია საინტერესო შედეგების მიღება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. L C Pathak and S K Mishra *Supercond. Sci. Technol* 18, R67 (2005).
2. A.Agostino, P.Benzi *et al. Supercond. Sci. Technol* 17, 685 (2004).
3. Z.V.Dzibuti *et al. Tech.Phys.Lett* 23, 746 (1997).
4. S.A. Avsarkisov, Z.V. Jibuti *et al. Tech.Phys.Lett* 32, 259 (2006).
5. Z.V. Jibuti *et al. Tech.Phys.Lett* 53, 808 (2008).
6. D. Daraselia, D. Japaridze, Z. Jibuti, A. Shengelaya and K. A. Müller, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 26, 2987 (2013).
7. D. Daraselia, D. Japaridze, Z. Jibuti, A. Shengelaya, and K. A. Müller, “Rapid solid-state reaction of oxides with ultraviolet radiation”, European Patent Application PCT/EP2013/050664.
8. Kazimierz Conder, 101 years of superconductivity