AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

C03O4 VƏ NIO NANOHİSSƏCİKLƏRİNİN XASSƏLƏRİNƏ STABİLLƏŞDİRİCİLƏRİN, TEMPERATURUN VƏ Cu, Ag İLƏ AŞQARLANMA PROSESLƏRİNİN TƏSİRİNİN TƏDQİQİ

İxtisas: 2317.01 – Nanokimya və nanomateriallar

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: Sevinc Calal qızı Məmmədyarova

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2025

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Nanoaraşdırmalar ETLdə həyata keçirilmişdir.

Elmi rəhbərlər:

AMEA-nın həqiqi üzvü, kimya elmləri doktoru, professor Abel Məmmədəli oğlu Məhərrəmov fizika-riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent Mustafa Bayram oğlu Muradov

Rəsmi opponentlər:



AMEA-nın həqiqi üzvü, kimya elmləri doktoru, professor **Vaqif Məhərrəm oğlu Abbasov,** AMEA-nın həqiqi üzvü, kimya elmləri doktoru, professor **Adil Abdulxalıq oğlu Qəribov,** AMEA-nın müxbir üzvü, kimya elmləri doktoru, professor **İslam İsrafil oğlu Mustafayev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.16 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

kimya elmləri doktoru, professor İbrahim Qərib oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

kimya elmləri doktoru, dosent _**Farid Nad<u>ir oğlu Nağıyev</u>**

Elmi seminarın sədri:

ARreceller

nan Elim va Tahali Nazirii BAKI DÖVLƏT UNİVERSITETİ AMEA-nini kimya elmandoktor Enro Vagif Mpeld oglu FSCANTER SECRETARY

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Nanoölçülü Mövzunun materialların xassələri həcmi analoqları ilə müqayisədə kəskin dərəcədə fərqlənir. Bu da həmin materialların potensial tətbiq sahələrini artırır. Müxtəlif fiziki və kimyəvi metodları tətbiq etməklə nanoölçülü hissəciklərin ölçülərinə, quruluşuna və formasına nəzarət etmək və onların fiziki-kimyəvi xassələrini artırmaq mümkündür. Keçid metalların oksidləri içərisində kobalt oksid və nikel oksid nanohissəcikləri özünəməxsus optiki, katalitik, elektrik və maqnit xüsusiyyətlərinə malik olması səbəbindən böyük diqqət cəlb edir və potensial tətbiq imkanlarına malikdir. Kobalt oksid və nikel oksid nanoquruluşlarının katalizator, sensorları, qaz supertutumlar, elektrokimyəvi sensorlar, elektroxromik qurğular, rəngə həssas fotokatodlar, Li-ion batareyalarında anod material, fotovoltaik, optoelektronik və maqnetik qurğuların elementləri kimi geniş tətbiq sahələri məlumdur. Son vaxtlar metal oksid nanohissəciklərinin müxtəlif elementlərlə (keçid metal, nəcib metal, qeyri-metal, nadir torpaq elementləri və metal oksid) aşqarlanması geniş tətbiq olunur. Aşqarlama prosesi ilə nanohissəciklərin fiziki-kimyəvi xassələrini artırmaq mümkündür.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Tədqiqat obyektləri olaraq SİLAR metodla iki müxtəlif altlıq (şüşə və silisium) üzərində sintez Co_3O_4 nazik təbəqələri, müxtəlif stabilləşdiricilər olunmus sonokimyəvi metodla sintez olunmuş istirakında Co_3O_4 nanohissəcikləri və eyni zamanda bu metodla sintez olunmuş Cu, Ag asgarlanmıs Co_3O_4 NiO nanohissəcikləridir. ilə və Stabilləşdiricilərin, temperaturun və Cu, Ag ilə aşqarlanma proseslərinin sintez olunan Co3O4 və NiO nanohissəciklərinin quruluş və optiki xassələrinə təsirinin öyrənilməsi tədqiqatın əsas predmetini təskil edir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi Co_3O_4 və NiO nanohissəciklərini (NH) müxtəlif metodlarla sintez etmək, onların quruluşunu, optiki və dielektrik xassələrini, səth morfologiyasını və kimyəvi tərkibini öyrənmək, stabilləşdiricilərin, temperaturun, müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanma

3

proseslərinin bu NH-lərin qeyd olunan xassələrinə təsirini araşdırmaqdır.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı *vəzifələr* yerinə yetirilmişdir:

-SİLAR üsulu ilə Co₃O₄ nazik təbəqələrinin müxtəlif altlıqlar üzərində sintezi;

-Müxtəlif stabilləşdiricilərdən [polivinil spirti (PVS), 3merkaptopropion turşusu (3-MPT) və stirol] istifadə etməklə Co₃O₄ NH-lərinin sintezi və bu stabilləşdiricilərin formalaşan NH-lərin xassələrinə təsirinin öyrənilməsi;

-Müxtəlif aşqarlanma metodlarının araşdırılması, NH-lərin xassələrinə aşqarlanma prosesinin təsirinin öyrənilməsi;

-Cu_xCo_{3-x}O₄, Ag_xCo_{3-x}O₄, Cu_xNi_{1-x}O və Ag_xNi_{1-x}O (x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) nanohissəciklərinin sonokimyəvi metodla sintezi və aşqarlanma prosesinin formalaşan NH-lərin xassələrinə təsirinin öyrənilməsi;

-Oksidləşmə-reduksiya metodu ilə Ni/NiO nanozəncirlərin sintezi və müxtəlif temperaturlarda termiki işlənmənin alınmış nanoquruluşların quruluş və optiki xassələrinə təsirinin öyrənilməsi.

Tədqiqat metodları. Nümunələrin quruluş xassələri rentgen difraksiya (RD), optiki xassələri Ultrabənövşəyi-görünən (UB-Gör.) spektroskopiya (190-1100 nm dalğa uzunluğu intervalında) və İnfraqırmızı (İQ) spektroskopiya (400-4000 sm⁻¹ dalğa ədədi intervalında), morfoloji xassələri və ölçüsü skanedici elektron mikroskopu (SEM) və keçirici elektron mikroskopu (TEM), element tərkibi enerji-dispersiv rentgen spektroskopiya (EDS) kimi üsullarla tədqiq edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- 1. Co₃O₄ nanohissəciklərinin SİLAR metodla müxtəlif altlıqlar üzərində sintezi və altlıqların təbiətinin formalaşan nanohissəciklərin quruluşuna təsiri;
- 2. Müxtəlif stabilləşdiricilərin sonokimyəvi üsulla alınan Co₃O₄ nanohissəciklərinin ölçülərinə və optiki xassələrinə təsiri;
- 3. Müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanma prosesinin sonokimyəvi metodla sintez olunan Co₃O₄ nanohissəciklərinin quruluşuna, optiki və fotokatalitik xassələrinə təsiri;

- 4. Müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanma prosesinin sonokimyəvi metodla sintez olunan NiO nanohissəciklərinin quruluşuna, optiki və fotokatalitik xassələrinə təsiri;
- 5. Müxtəlif temperaturun oksidləşmə-reduksiya üsulu ilə sintez olunan Ni/NiO nanozəncirlərin quruluşuna və optiki xassələrinə təsiri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

- Müxtəlif stabilləşdiricilərdən istifadə etməklə sonokimyəvi metodla sintez olunmuş Co₃O₄ nanohissəciklərin və aşqaredici maddə kimi istifadə olunan mis və gümüşün qatılığını dəyişməklə Co₃O₄, NiO nanohissəciklərinin quruluşuna, ölçüsünə, kimyəvi tərkibinə, morfologiyasına, optiki, fotokatalitik xassələrinə nəzarət etmək mümkün olmuşdur.
- Aşqaredici maddələrin 10%-ə qədər qatılığında Co₃O₄ və NiO nanohissəciklərinin rentgen difraktoqramlarında aşqaredici maddəyə məxsus piklər müşahidə olunmamışdır. Bu isə aşqaredici maddələrin Co₃O₄ və NiO qəfəsinə müvəffəqiyyətlə daxil olmasının göstəricisidir.
- 3. Müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanmış kobalt oksid NH-ləri içərisində, Cu_{0.02}Co_{2.98}O₄ birləşməsi iştirakında təmiz NH-lərə nəzərən fotodeqradasiya effektivliyində artım müşahidə olunmuşdur.
- 4. Oksidləşmə-reduksiya üsulu ilə sintez olunmuş Ni/NiO nanozəncirlərin 400°C, 500°C, 600°C temperaturlarda termiki işlənməsi ilə onların optiki xassələrinə nəzarət etmək mümkün olmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Sintez olunmuş genis qadağan olunmus zona nanohissəciklər eninə malik olduğundan sensorlar və günəş elementləri üçün perspektivli material hesab oluna bilər. Aşqarlanmış nanoquruluşların görünən işığın təsiri boyaq maddəsinin deqradasiyası altında metilen göy ücün kimi tətbiqinin mümkünlüyü araşdırılmış fotokatalizator və aşqarlanmamış nanoquruluşlarla müqayisədə nəticələrdə artım müşahidə olunmuşdur.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 21 elmi əsər (11 məqalə və 10 tezis) yerli və xarici jurnallarda çap

olunmuşdur. Məqalələrdən 5-i Web of Science Clarivate Analytics və Scopus bazalarında indekslənən jurnallarda dərc olunmuşdur. Alınmış nəticələr respublika və beynəlxalq səviyyəli bir sıra elmi konfranslarda məruzə edilmişdir:

- II International scientific conference of young researchers (Baku, 27-28 April 2018);
- 5th International Conference "Nanotechnologies" NANO-2018 (Tbilisi, 19-22 November 2018);
- 1st International science and engineering conference (Baku, 29-30 November 2018);
- 2nd International Conference on Light and Light-Based Technologies (Ankara, 26-28 May 2021);
- 1st International Symposium on Recent Advances in Fundamental and Applied Sciences (ISFAS-2021) (Erzurum, 10-12 September 2021);
- 6th International Conference "Nanotechnology" (GTUnano20) (Tbilisi, 4-7 October 2021);
- 7th International Conference MTP-2021: Modern Trends in Physics (Baku, 15-17 December 2021);
- Cukurova 8th International Scientific Researches Conference (Adana, 15 17 April 2022);
- Nanoscience & Nanotechnology Conference (Laboratori Nazionali di Frascati (Rome, 29 May-1 June 2023);
- 8th International Conference: "MTP-2023" Modern Trends Physics (Baku, 30 November - 1 December 2023).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Nanoaraşdırmalar ETL-də yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi 196 səhifədən (174812 işarə), girişdən (8691 işarə), 3 fəsildən (birinci fəsil-52102 işarə, ikinci fəsil-25591 işarə, üçüncü fəsil-85840 işarə), nəticələrdən (2588 işarə), istifadə edilmiş 203 adda ədəbiyyat siyahısından, ixtisarlar və şərti işarələrin siyahısından ibarətdir. Dissertasiyaya həmçinin 98 şəkil və 16 cədvəl daxildir. İddiaçının şəxsi töhfəsi. Dissertasiya mövzusu üzrə ədəbiyyat məlumatlarının icmalı, təcrübələrin aparılması, alınmış məhsulların müxtəlif tədqiqat üsulları ilə analiz nəticələrinin təhlili və izahı, məqalə və tezislərin hazırlanması, eləcə də onların dərc olunması üçün jurnallara təqdim edilməsi müəllifin şəxsi iştirakı ilə həyata keçirilmişdir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün yerinə yetirilmiş vəzifələr, tədqiqatın obyekti və predmeti, tədqiqat metodları, işin elmi yeniliyi, müdafiəyə təqdim olunan əsas elmi müddəalar göstərilmiş, işin praktiki və nəzəri əhəmiyyəti əsaslandırılmış, nəticələrin aprobasiyası, dissertasiya işinin quruluşu və həcmi haqqında məlumat şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə kobalt oksid və nikel oksid NH-lərinin müxtəlif metodlarla sintezi, onların fiziki-kimyəvi xassələri, tətbiq sahələri, perspektivliyi araşdırılaraq ədəbiyyat icmalı hazırlanmışdır.

İkinci fəsildə kobalt oksid və nikel oksid NH-lərinin müxtəlif metodlarla (SİLAR və sonokimyəvi) sintezi üçün təcrübi işlər öz əksini tapmışdır. SİLAR metodla kobalt oksid nazik təbəqələrinin sintezi otaq temperaturunda iki müxtəlif altlıq (şüşə və silisium) üzərində müxtəlif dövrlərdə və oksidləşdiricinin (H₂O₂) müxtəlif qatılıqlarında həyata keçirilmişdir. Kobalt oksid NH-lərinin sonokimyəvi metodla sintezi müxtəlif stabilləşdiricilər iştirakında aparılmışdır. Bundan əlavə, bu metodla sintez zamanı kobalt oksid və nikel oksid NH-ləri Ag və Cu ilə aşqar olunmuşdur. Ni/NiO nanozəncirləri müxtəlif maqnit sahə intensivliyinin təsiri altında oksidləşmə-reduksiya metodu ilə sintez olunmuş və oksidləşmə temperaturundan asılı olaraq quruluş və optiki xassələrinin tədqiqi həyata keçirilmişdir.

Üçüncü fəsildə alınan nümunələrin quruluş və xassələri tədqiq olunmuşdur. Şəkil 1 və 2-də müxtəlif çökdürmə dövrlərində şüşə altlıq üzərində 1%-li və 3%-li H_2O_2 -dən istifadə etməklə sintez olunmuş təbəqələrin termiki emaldan əvvəlki və sonrakı rentgen

7

difraktogramları göstərilmişdir. Termiki emaldan əvvəlki nümunələrin rentgen difraktoqramında 2θ -nın 20° qiymətində (003) müstəviyə müvafiq pik polikristallik indeksli Miller kobalt [CoO(OH)]uyğundur (JCPDS-14-0673). oksihidroksidə Difraktoqramda müşahidə olunan enli pik amorf şüşə altlığa müvafiqdir. Nümunələrin 300°C-də 3 saat müddətində termiki emalından sonra kobalt oksidə müvafiq pik müşahidə olunmamışdır. Bu onu göstərir ki, sintez olunmuş nazik təbəqələr amorf quruluşa malik olmusdur.



Şəkil 1. Şüşə altlıq üzərində 1%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş (a) CoO(OH) və (b) Co₃O₄ təbəqələrinin RD metodu ilə analizi; 1- 40 dövr; 2 – 60 dövr ; 3 – 80 dövr ; 4-100 ; 5 - 120 dövr.



Şəkil 2. Şüşə altlıq üzərində 3%-li H_2O_2 -dən istifadə etməklə sintez olunmuş (a) CoO(OH) və (b) Co₃O₄ təbəqələrinin RD metodu ilə analizi; 1- 40 dövr; 2 – 60 dövr; 3 – 80 dövr; 4-100; 5 – 120 dövr.

Səkil 3 silisium altlıq üzərində 60 dövrdə cökdürülmüs təbəqələrin termiki emaldan əvvəl və sonrakı rentgen difraktoqramlarını göstərir. Silisium altlıq üzərində 3%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş təbəqələrin termiki emaldan əvvəlki difraktoqramında 20=14.37°, 17.17°, 28.44° difraksiya bucaqlarında müşahidə olunan piklər silisium altlığa müvafiqdir. Bundan əlavə şüşə altlıq üzərində sintez olunmuş təbəqələrin RD analiz nəticələrinə oxşar olaraq, (3%-li H₂O₂-dən $2\theta = 20.02^{\circ}$ istifadə etməklə sintez olunmus təbəqələrdə) və 20=20.22° difraksiya bucaqlarında (1%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş təbəqələrdə) CoO(OH)-ə müvafiq pik müsahidə olunmusdur. Silisium altlıq üzərində 1%-li və 3%-li H2O2dən istifadə etməklə sintez olunmuş təbəqələrin 300°C-də termiki emalından sonra difraktoqramda müvafiq olaraq 2 θ =19.26°, 36.98° və 2 θ =39.54°, 59.16° qiymətlərdə kiçik intensivlikli piklər müşahidə olunmuşdur. Bu nəticələr zəif kristallik Co₃O₄-ün (JCPDS-00-009-0418) formalaşmasını göstərir.



Şəkil 3. Silisium altlıq üzərində (a) 3%-li və (b) 1%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş CoO(OH) (1) və Co₃O₄ (2) təbəqələrinin RD metodu ilə analizi.

Belə ki, 1%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş Co₃O₄ NH-ləri üçün ölçü (311) müstəvisinə müvafiq pikə əsasən hesablanmışdır və 3.98 nm-dir. 3%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə sintez olunmuş Co₃O₄ NH-ləri üçün ölçü (222) müstəvisinə müvafiq pikə əsasən hesablanmışdır və 51.89 nm-dir.

1%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə şüşə altlıq üzərində 60 və 120 dövrdə çökdürülmüş Co₃O₄ nazik təbəqələrin düz keçidli qadağan olunmuş zonasının eni (E_g) müvafiq olaraq 2.10 eV və 3,26 eV; 1.94 eV və 2.50 eV-dur. 3%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə şüşə altlıq üzərində 60 və 120 dövrdə çökdürülmüş Co₃O₄ nazik təbəqələr üçün E_g müvafiq olaraq 1.89 eV və 3.24 eV; 1.90 eV və 2.17 eV-dur. İki E_g eninin mövcud olması liqand-metal yük keçidi hadisələri ilə əlaqədardır: $O^{2-} \rightarrow Co^{3+}$ (E_{g1}) və $O^{2-} \rightarrow Co^{2+}$ (E_{g2})¹. Oksidləşdirici agentin qatılığının artması ilə E_g eninin azalması hissəciklərin ölçüsünün artması ilə əlaqəli ola bilər. 1%-li və 3%-li H₂O₂-dən istifadə etməklə silisium altlıq üzərində 60 dövrdə çökdürülmüş Co₃O₄ nazik təbəqələr üçün E_g müvafiq olaraq 1.38 eV və 1.63 eV kimi hesablanmışdır.

Sonokimyəvi metodla müxtəlif stabilləşdiricilər iştirakında sintez olunmus Co₃O₄ NH-lərinin xassələrinin tədqiqi. Stabilləşdirici kimi polivinil spirti (PVS) və stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş kobalt oksid NH-lərin RD metodu ilə analiz nəticələri Şəkil 4-də göstərilmişdir. PVS-dən istifadə etməklə sintez nümunənin termiki emaldan olunmus əvvəlki rentgen difraktoqramında pik müşahidə olunmaması alınmış məhsulun amorf quruluşlu hissəciklərdən ibarət olduğunu göstərir. Nümunələrin 500°C-də 4 saat müddətində termiki emalından sonra (311), (222) və (422) müstəvilərinə müvafiq $2\theta=36.71^{\circ}$, 39.71° və 54.56° qiymətlərdə müşahidə olunan kiçik intensivlikli piklər zəif kristallik Co₃O₄-ün (JCPDS-00-009-0418) formalaşmasını göstərir. Bundan əlavə (111) müstəvisinə müvafiq 20=33.22° qiymətində müşahidə olunan pik isə CoO-ya (JCPDS-42-1300) uyğundur. Bu o deməkdir ki, alınmış hissəciklər iki fazadan ibarətdir. Stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan əvvəlki rentgen difraktogramında (012) və (110) müstəvilərinə müvafiq 2θ =33.39° və 59.41°-də müşahidə olunan piklər α -Co(OH)₂-ə uyğundur². Termiki emaldan sonra (220), (311), (511) və (440) müstəvilərinə müvafiq 20-nın 31.34°, 36.84°, 59.75° və 65.23° qiymətlərində müşahidə olunan piklər kubik Co₃O₄-ün formalaşmasını göstərir. Stabilləşdirici kimi stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş Co₃O₄ NH-lərinin Debay Şerrer düsturuna əsasən hesablanmış orta kristallik ölçüsü 7.29 nm-dir. Örtücü agent kimi PVS-dən istifadə etməklə sintez

 $^{^1}$ Makhlouf S. A. Structural, Electrical and Optical Properties of Co_3O_4 Nanoparticles / S. A. Makhlouf, Z. H. Bakr, K. I. Aly [et al.] // Superlattices and Microstructures, $-2013,\,64,-p.\,107{-}117.$

² Wang M. Preparation of Self-Assembled Cobalt Hydroxide Nanoflowers and the Catalytic Decomposition of Cyclohexyl Hydroperoxide / M. Wang, J. Ma, C. Chen [et al.] // Journal of Materials Chemistry, -2011, 21, - p. 12609–12612.

olunmuş nümunənin rentgen difraktoqramında ən intensiv pik CoOya uyğundur. 2θ =33.22° difraksiya pikinə əsasən hesablanmış orta kristallik ölçü 36 nm-dir. Beləliklə, α -Co(OH)₂-nin mümkün əmələgəlmə mexanizmi aşağıdakı tənliklərlə təsvir oluna bilər³:

 $NaBH_4+2H_2O \rightarrow NaBO_2+4H_2$

$$NaBO_2+2H_2O \rightarrow NaOH+H_3BO_3$$

 $Co^{2+} + 2OH^- \rightarrow Co(OH)_2$

NaBH₄-ün sulu məhlulunun hidrolizi natrium metaboratın formalaşması ilə nəticələnir və bu maddənin yenidən hidrolizi natrium hidroksidin formalaşmasına gətirib çıxarır³.

Şəkil 5 müxtəlif qatılıqlı 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş kobalt oksid NH-lərin RD metodu ilə analiz nəticələrini göstərir. 2%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan əvvəlki rentgen difraktoqramında pik müşahidə olunmamışdır. Termiki emaldan sonra isə (220), (111), (311), (400), (511) və (440) müstəvilərinə müvafiq 20=31.19°, 34.34°, 36.84°, 44.92°, 59.30° və 65.17° qiymətlərdə müşahidə olunan piklər kubik fazalı Co₃O₄ və CoO-ə uyğundur. 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan əvvəl RD ilə analizində difraksiya pikləri Co(OH)₂ və kobalt oksihidroksid (CoOOH) qarışığına müvafiqdir. CoOOH-in formalaşma mexanizmi aşağıdakı tənliklərlə izah oluna bilər⁴:

 $\begin{array}{c} H_2O)))))) {\rightarrow} H \cdot + OH \cdot \\ H \cdot + H \cdot {\rightarrow} H_2 \\ OH \cdot + OH \cdot {\rightarrow} H_2O_2 \\ 2 \operatorname{Co}(OH)_2 + H_2O_2 {\rightarrow} 2\operatorname{Co}OOH + 2H_2O \end{array}$

2%-li və 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş Co₃O₄ NH-lərinin orta kristallik ölçüsü müvafiq olaraq 16.26 nm və 6.11

³ Bashir O. Encapsulation of Silver Nanocomposites and Effects of Stabilizers / O. Bashir, S. Hussain, Z. Khan [et al.] // Carbohydrate Polymers, - 2014, 107, - p.167–173.

 $^{^4}$ Al-Qirby L. M. Sonochemical Synthesis and Characterization of Co₃O₄ Nanocrystals in the Presence of the Ionic Liquid [EMIM][BF₄] / L. M. Al-Qirby, S. Radiman, C. W. Siong [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry, -2017, 38, - p. 640–651.

nm-dir. RD metodu ilə analiz nəticələrindən göründüyü kimi stabilləşdirici agent məhlulunun qatılığının artması ilə difraksiya piklərinin intensivliyi azalır. Bu isə hissəciklərin ölçülərinin kiçilməsi ilə əlaqədardır. Çünki, stabilləşdiricinin miqdarı kiçik olduqda stabilləşdirmə effekti zəif olduğundan aqreqasiya prosesi sürətli baş verir.



Şəkil 4. a) Polivinil spirti və b) stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş NH-lərin termiki emaldan (1) əvvəl və (2) sonrakı rentgen difraktoqramları.



Şəkil 5. a) 2%-li və b) 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş NH-lərin termiki emaldan (1) əvvəl və (2) sonrakı rentgen difraktoqramları.

PVS və stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş oksid NH-lərin düz keçidli E_g eni müvafiq olaraq 1.75 eV və 3.10 eV; 2.10 eV və 3.20 eV-dur. Müxtəlif qatılıqlı 3-MPT NH-lərin ölçülərinə təsir etmişdir. 2%-li və 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş oksid NH-lərinin E_g eni müvafiq olaraq 1.65 eV və 3.55 eV; 1.85 eV və 3.13 eV-dur. Nəticələrdən göründüyü kimi, nanohissəciklərin ölçüsü azaldıqca E_g eni artır.

Şəkil 6-da PVS və stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş kobalt oksid NH-lərinin İQ spektrləri göstərilmişdir. PVS-dən istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan əvvəlki spektrində 3440 sm⁻¹ dalğa ədədində müşahidə olunan enli zolaq PVS-in hidrogenlə əlaqəli hidroksil qrupunun rəqsi ilə əlaqədardır. 2928 sm⁻¹-dəki udma zolağı asimmetrik C-H gərilməsinə aiddir. CH₂-yə müvafiq rəqslər 1443 sm⁻¹ və 1340 sm⁻¹də müşahidə olunmuşdur. 1740 sm⁻¹-dəki zolaq PVS-in asetat qrupunun C=O gərilməsinə aiddir. 1126 sm⁻¹-də müsahidə olunan zolaq C-O gərilməsinə xarakterikdir. Bundan əlavə, 676 sm⁻¹-də müşahidə olunan zolaq Co-OH rəqsi ilə əlaqədardır. 500°C temperaturda termiki emaldan sonra PVS-in yuxarıda qeyd olunan bəzi piklərinin itməsi və ya intensivliyinin azalması polimerin parçalandığını göstərir⁵. Termiki emaldan sonra 662 sm⁻¹ (v₁) və 567 sm^{-1} (v₂) dalğa ədədlərində müşahidə olunan iti piklər Co₃O₄-ün formalaşmasını təsdiq edir. v₁ zolağı tetraedral koordinatlaşmış Co²⁺ ionları, v2 zolağı isə oktaedral koordinatlaşmış Co3+ ionları ilə əlaqədardır⁶.

Stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan əvvəlki spektrində 2928 sm⁻¹-dəki zolaq aromatik C–H gərilməsinə aiddir. Stirolun vinil qrupunun C=C ikiqat rabitə gərilməsinə müvafiq 1654 sm⁻¹-dəki pikin mövcudluğu nümunədə

 $^{^5}$ Ghafari E. Investigating Process-Structure Relations of ZnO Nanofiber via Electrospinning Method / E. Ghafari, Y. Feng, Y. Liu [et al.] // Composites Part B, -2017, 116, - p. 40–45.

 $^{^6}$ Ozkaya T. Reflux synthesis of Co₃O₄ nanoparticles and its magnetic characterization / T. Ozkaya, T. A.Baykal, M.S.Toprak [et al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, $-2009,\,321,\,-p.2145-2149.$

sərbəst stirolun olduğunu göstərir⁷. 600 sm⁻¹ və 519 sm⁻¹ dalğa ədədlərində müşahidə olunan piklər müvafiq olaraq Co–OH və Co–O rəqslərinə müvafiqdir. Stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan sonrakı spektrində 662 sm⁻¹ və 570 sm⁻¹ dalğa ədədlərində müşahidə olunan iki kəskin pik Co₃O₄-ün formalaşmasını təsdiq edir. Bu nəticələr RD analiz nəticələri ilə uzlaşır.



Şəkil 6. a) PVS və b) stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin termiki emaldan (1) əvvəl və (2) sonra İQ spektroskopiya ilə analizi.

Şəkil 7 müxtəlif qatılıqlı 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş kobalt oksid NH-lərinin İQ spektroskopiya ilə analiz nəticələrini göstərir. Termiki emaldan əvvəlki nümunələrin spektrində 3430 sm⁻¹-dəki enli zolaq O–H rabitəsinin rəqslərinə müvafiqdir. 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin spektrində 1707 sm⁻¹ və 2928 sm⁻¹ dalğa ədədlərində

⁷ Yu Y., Korgel B. A. Controlled Styrene Monolayer Capping of Silicon Nanocrystals by Room Temperature Hydrosilylation // Langmuir, -2015, 31, - p. 6532–6537.

müşahidə olunan piklər müvafiq olaraq karboksil qrupun C=O gərilməsinə və metilen qrupun C-H gərilməsinə aiddir. 7%-li və 2%li 3-MPT-dən istifadə edərək sintez edilən nümunələrin spektrlərində müvafiq olaraq 807 sm⁻¹ və 835 sm⁻¹ dalğa ədədlərində müşahidə olunan piklər C-S rabitə rəqslərinə aiddir. 7%-li 3-MPT-dən istifadə edərək sintez edilən nümunələrin spektrindəki 2631 sm⁻¹ və 2565 sm⁻¹ dalğa ədədlərində olan piklər tiol qrupun sərbəst S-H gərilmə rəqsi ilə əlaqədardır. Bu xarakteristik pik 2%-li 3-MPT-dən istifadə olunmus nümunənin spektrində müsahidə etməklə sintez olunmamışdır. Bu isə MPT-nin tiol qrupu ilə metal atomu arasında kovalent rabitə formalaşmasını təsdiq edir. Bu spektrdə C=O gərilməsinə aid olan pik itmiş, 1560 sm⁻¹ və 1420 sm⁻¹ dalğa ədədlərində karboksil qrupun (COO⁻) asimmetrik və simmetrik gərilmə rəqslərinə müvafiq yeni zolaqlar görünmüşdür. Bu göstərir ki, MPT-nin karboksil qrupu ilə metal mərkəz arasında həmçinin koordinasiya rabitəsi formalasmışdır. 7%-li MPT örtüklü NH-lərin termiki emaldan əvvəlki spektrində 1527 sm⁻¹ və 1406 sm⁻¹ dalğa ədədlərində COO⁻ qrupunun gərilməsinə müvafiq zolaqlar müşahidə olunmuşdur. Bu nümunə üçün belə nəticəyə gəlmək olar ki, hər iki funksional qrup (-SH və -COOH) NH-in səthi ilə qismən əlaqələnmisdir. Bu spektrdə həmcinin 639 sm⁻¹ və 518 sm⁻¹ dalğa ədədlərində müşahidə olunan udma zolaqları müvafiq olaraq Co-OH və Co-O rəqslərinə aiddir. Bu nəticələr RD analiz nəticələri ilə üstüstə düşür. Bu xarakteristik piklər 2%-li MPT ilə örtülmüş NH-lər üçün 676 sm⁻¹ və 519 sm⁻¹-də müşahidə olunmuşdur. Nümunələrin 500°C-də termiki emalından sonra 3-MPT-nin bəzi pikləri itmişdir. yüksək temperaturda 3-MPT-nin parçalanması Bu. VƏ va buxarlanması ilə əlaqədardır. 2%-li 3-MPT ilə örtülmüş nümunələrin spektrində 661 sm⁻¹ və 568 sm⁻¹ (7%-li 3-MPT ilə örtülmüş nümunələrin spektrində 669 sm⁻¹ və 568 sm⁻¹) dalğa ədədlərində müşahidə olunan piklər kobalt oksidin formalaşmasını təsdiq edir⁸.

⁸ Mammadyarova S.J. Influence of stabilizing agents on structural and optical properties of cobalt oxide nanoparticles synthesized by an ultrasound-assisted method / S.J.Mammadyarova, M.B.Muradov, A.M.Maharramov [et al.] // Spectroscopy Letters, – 2019, 52(10), – p. 677-686.



Şəkil 7. (1) 2%-li, (2) 7%-li 3-MPT-dən istifadə etməklə sintez olunmuş nümunələrin 500° C-də termiki emaldan (a) əvvəl və (b) sonra İQ spektroskopiya ilə analizi.

Sonokimyəvi metodla sintez olunmuş, müxtəlif gatılıqlarda Cu və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin xassələrinin tədqiqi. Səkil 8-də aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlarda Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin 500°C temperaturda 4 saat müddətində termiki nəticələri RD ilə analiz göstərilmişdir. emaldan sonrakı Aşqarlanmamış kobalt oksid NH-lərinə aid olan difraktoqramda (111), (220), (311), (222) və (440) müstəvilərinə müvafiq 2θ =18.91°, 31.25°, 36.84°, 38.56°, 65.19° qiymətlərdə kiçik intensivlikli piklər müşahidə olunmuşdur. Bu nəticələr JCPDS-00-009-0418 standartına uyğun gəlir və kubik kristal qəfəsə malik Co₃O₄-ün formalaşmasını göstərir. Heç bir kənar difraksiya pikləri müşahidə olunmamışdır. Bu onu göstərir ki, Co₃O₄ NH-ləri yüksək təmizliklə alınmışdır. Aşqarlanmamış Co₃O₄ NH-lərinin orta kristallik ölçüsü 22.55 nm-dir. Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Cu_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) orta kristallik ölcüsü isə müvafiq olaraq 29.17 nm, 21.87 nm, 34.19 nm və 31.26 nm-dir. Göründüyü kimi, Cu aşqarının qatılığının artması ilə Co₃O₄ NH-lərinin ölçüsü qeyri-ardıcıl olaraq dəyişir. Aşqarlanmış nümunələrə aid difraktoqramlarda mis və ya mis oksidlərinə aid pik müşahidə olunmamışdır. Bu, Co₃O₄ qəfəsinə misin müvəffəqiyyətlə daxil olmasının və dispers paylanmasının göstəricisidir⁹. Co²⁺-in (tetraedral koordinatlaşmış) ion radiusu (0.72 Å) və Cu²⁺-in (tetraedral koordinatlasmıs) ion radiusu (0.71 Å) birbirinə yaxın olduğundan Cu²⁺ ionları Co₃O₄ matrisində Co²⁺-in qəfəs sahələrinə asanlıqla daxil olub bu ionları əvəz edə bilər. Asqarlanmamış NH-lərlə müqayisədə mis ilə aşqarlanmış Co3O4 NHlərin difraktoqramlarında piklər nisbətən böyük bucaq tərəfə sürüşmüş və qəfəs sabitinin qiyməti azalmışdır. Nanohissəciklərin ölçüsü artdıqca qəfəs gərilməsinin qiyməti azalır və əksinə, ölçünün azalması ilə qəfəs gərilməsinin qiyməti artır. Nanohissəciklərin qurulus xarakteristikaları haqqında daha çox məlumat üçün müstəvilərarası məsafə, qəfəs gərilməsi, dislokasiya sıxlığı və vahid qəfəs həcmi hesablanmıs və qiymətlər cədvəl 1-də göstərilmisdir:

Cədvəl 1. 500°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Cu_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) kristal quruluş parametrlərinin qiymətləri.

Nümunələr	20 (°)	Orta krist. ölçü (nm)	Müstə- vilər arası məsafə (Å)	Qəfəs gəril- məsi	Dislo- kasiya sıxlığı (10 ⁻³)	Qəfəs sabiti (Å)	Vahid qəfəs həcmi (Å) ³
Co_3O_4	36.84	22.55	2.438	0.0051	1.967	8.085	528.47
$Cu_{0.02}Co_{2.98}O_4$	36.94	29.17	2.431	0.0039	1.175	8.064	524.33
$Cu_{0.04}Co_{2.96}O_4$	36.86	21.87	2.437	0.0052	2.091	8.081	527.71
Cu _{0.06} Co _{2.94} O ₄	36.94	34.19	2.431	0.0033	0.855	8.064	524.33
$Cu_{0.1}Co_{2.9}O_4$	36.94	31.26	2.431	0.0037	1.023	8.063	524.09

 $^{^9}$ Mu G. Oxygen Vacancy Defects Engineering on Cu-Doped Co₃O₄ for Promoting Effective COS Hydrolysis / G. Mu, Y. Zeng, Y. Zheng [et al.] // Green Energy & Environment, $-2023, \, 8, \, -p. \, 831-841.$



Şəkil 8. 500°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Cu_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) rentgen difraktoqramları.

Şəkil 9-də aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlarda Cu ilə 600°C temperaturda asqarlanmıs Co₃O₄ NH-lərinin 4 saat müddətində termiki emaldan sonrakı RD metodu ilə analiz nəticələri göstərilmişdir. Aşqarlanmamış NH-lərə aid olan difraktoqramda 20=31.12°, 36.71°, 59.18°, 65.05° qiymətlərində müşahidə olunan piklər (220), (311), (511), (440) müstəvilərinə müvafiq olub Co₃O₄ün formalaşmasını təsdiq edir. Debay-Şerrer düsturu ilə hesablanmış bu NH-lərin ölçüsü 22.43 nm-dir. 600°C temperaturda termiki emal olunmuş Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Cu_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) orta kristallik ölçüsü isə müvafiq olaraq 21.86 nm, 23.7 nm, 21.8 nm, 22.38 nm-dir. Temperaturun artması ilə x=0.04 qiymətində Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin ölçüsü artmış, x=0.02, 0.06, 0.1 giymətində Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin ölçüsü isə azalmışdır.



Şəkil 9. 600°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Cu_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) rentgen difraktoqramları.

Şəkil 10-da aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlarda Ag ilə asqarlanmıs Co₃O₄ NH-lərinin 500°C temperaturda 4 saat müddətində termiki emaldan sonrakı RD metodu ilə analiz nəticələri göstərilmişdir. x=0.02 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış nümunənin difraktogramında (111), (220), (311), (400), (511) və (440) müstəvilərinə müvafiq 20=19.11°, 31.43°, 37.04°, 44.98°, 59.53° və 65.31° qiymətlərdə müsahidə olunan altı pik kubik kristal qəfəsə malik Co₃O₄-ün formalaşmasını göstərir. Difraktoqramlardan göründüyü kimi, aşqarlanmış nümunələrdə gümüş və ya gümüş (I) oksidə (Ag₂O) aid piklər müşahidə olunmamışdır. Aşqarlanmamış Co₃O₄ ilə müqayisədə, müxtəlif qatılıqlı Ag ilə aşqarlanmış NH-lərdə (311) müstəvisinə müvafiq pikin nisbətən böyük bucaqlara doğru sürüşməsi baş vermişdir. Bu, Ag ilə aşqarlanma səbəbindən Co₃O₄ kristal qəfəsində lokal təhriflərin mövcudluğunu göstərir. Çünki Ag+in (tetraedral koordinatlaşmış) ion radiusu (1.14 Å) Co²⁺-in ion radiusundan (0.72 Å) böyükdür. Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-

lərinin (Ag_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) kristallik ölçüləri müvafiq olaraq 17.17 nm, 19.02 nm, 23.03 nm və 17.5 nm-dir. Sintez olunmuş bu NH-lər üçün digər kristal quruluş parametrləri cədvəl 2də göstərilmişdir. Aşqarlanmamış Co₃O₄ NH-ləri ilə müqayisədə x=0.02 qiymətində Ag ilə aşqar edilmiş NH-lərin ölçülərinin kiçilməsi Ag⁺ ionlarının daxil olması ilə Co₃O₄ qəfəsində yaranan daxili mikrostruktur gərilmə və təhriflə əlaqələndirilə bilər. Nəticələrdən göründüyü kimi, gümüşün qatılığının x=0.06 qiymətinə qədər artması ilə hissəciklərin ölçüsü artmış, gümüşün daha yüksək qatılığında (x=0.1) isə ölçü azalmışdır. Bu belə izah oluna bilər ki, gümüşün qatılığı artdıqca daxili struktur zəifləməsi artır və bu da böyümə sürətini artırır. Lakin aşqar elementin miqdarı daha çox olduqda qəfəsdə defektlərin artması ilə stabillik azalır və beləliklə hissəciklərin ölçüsündə azalma müşahidə olunmuşdur.

Cədvəl	l 2. 500°C-də	termiki emal	olunmuş	aşqarlanma	mış və Ag
ilə aşq	arlanmış Co3	O4 NH-lərinin	(Ag _x Co _{3-y}	xO4, x=0.02,	0.04, 0.06,
0.1) k	ristal quruluş	parametrlərin	nin qiymə	tləri.	

Nümunələr	2 0 (°)	Orta krist. ölçü (nm)	Müstə- vilər arası məsafə (Å)	Qəfəs gəril- məsi	Dislo- kasiya sıxlığı (10 ⁻³)	Qəfəs sabiti (Å)	Vahid qəfəs həcmi (Å) ³
Co_3O_4	36.84	22.55	2.438	0.0051	1.967	8.085	528.47
$Ag_{0.02}Co_{2.98}O_4$	37.04	17.17	2.425	0.0066	3.392	8.043	520.32
$Ag_{0.04}Co_{2.96}O_{4}$	36.86	19.02	2.437	0.0060	2.764	8.081	527.73
$Ag_{0.06}Co_{2.94}O_{4}$	36.89	23.03	2.434	0.0050	1.885	8.073	526.07
$Ag_{0.1}Co_{2.9}O_4$	36.89	17.5	2.434	0.0065	3.265	8.073	526.07



Şəkil 10. 500°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Ag_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) rentgen difraktoqramları.

Şəkil 11-də aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlarda Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin 600°C temperaturda 4 saat müddətində termiki emaldan sonrakı RD metodu ilə analiz nəticələri göstərilmişdir. x=0.02 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış nümunəyə aid difraktoqramda 2 θ =18.85°, 30.91°, 36.53°, 44.51°, 59.12° və 64.90° qiymətlərində müşahidə olunan piklər (111), (220), (311), (400), (511) və (440) müstəvilərinə müvafiq olub Co₃O₄-ün formalaşmasını təsdiq edir və bu NH-lərin ölçüsü 24.83 nm-dir. Həmin temperaturda termiki emal olunmuş x=0.04, 0.06, 0.1 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin kristallik ölçüləri müvafiq olaraq 21.87 nm, 20.82 nm və 23.84 nm-dir. Beləliklə, temperaturun artması ilə x=0.06 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin ölçüsü azalmış, x=0.02, 0.04, 0.1 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin ölçüsü



Şəkil 11. 600°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin (Ag_xCo_{3-x}O₄, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) rentgen difraktoqramları.

Nümunələr üçün düz keçidli E_g eni $(\alpha hv)^2$ -nın hv-dan asılılığından alınmış əyridən x oxuna çəkilən ekstrapolyasiya ilə müəyyən olunmuş və cədvəl 3-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, x=0.02 qiymətində Cu ilə aşqarlanmadan sonra 500°C-də termiki emal olunmuş Co₃O₄ NH-ləri üçün E_g eni 1.58 eV və 3.33 eV-dan 1.70 eV və 3.43 eV-a qədər artmışdır. Bu artımın səbəbi Moss-Burstein effekti ilə izah oluna bilər. Misin yüksək qatılıqlarında E_g eninin azalması kristal defektlərlə əlaqəlidir.

600°C-də termiki emal olunmuş Cu ilə aşqarlanmış nümunələr üçün E_g qiyməti kvant ölçü effektinə uyğun olaraq NH-lərin ölçüsünün azalması ilə artır. Aşqar olunmamış Co₃O₄ NH-ləri ilə müqayisədə 500°C və 600°C-də termiki emal olunmuş Ag ilə aşqarlanmış nümunələr üçün E_g qiymətində artım Moss-Burstein effekti ilə izah olunur.

Cədvəl 3. 500°C və 600°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-ləri üçün E_g qiymətləri.

Nümunələr	E _g (eV) (500°C)	E _g (eV) (600°C)
Co_3O_4	1.58 və 3.33	1.20 və 3.25
Cu _{0.02} Co _{2.98} O ₄	1.70 və 3.43	1.66 və 3.30
Cu _{0.04} Co _{2.96} O ₄	1.45 və 3.26	1.14 və 3.20
Cu _{0.06} Co _{2.94} O ₄	1.44 və 3.21	1.70 və 3.30
$Cu_{0.1}Co_{2.9}O_4$	1.26 və 3.08	1.56 və 3.27
Ag _{0.02} Co _{2.98} O ₄	1.69 və 3.35	1.50 və 3.27
Ag _{0.04} Co _{2.96} O ₄	1.60 və 3.26	1.52 və 3.30
Ag _{0.06} Co _{2.94} O ₄	1.72 və 3.47	1.72 və 3.26
Ag _{0.1} Co _{2.9} O ₄	1.74 və 3.44	1.70 və 3.26

500°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış Co₃O₄ NH-lərinin TEM təsvirlərinə əsasən bu NH-lər sferikə bənzər, heksaqonala bənzər və nizamsız quruluşlu morfologiyaya malikdir və ölçüləri 5.57 nm - 79.15 nm intervalındadır. x=0.1 qiymətində Cu ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-ləri sferikə, heksaqonal və romboedrik quruluşa bənzər və nizamsız quruluşlu morfologiyaya malikdir və ölçüləri 15.78 nm -78.31 nm intervalındadır. x=0.1 qiymətində Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-ləri romba bənzər, heksaqonal və sferik morfologiyaya malikdir və ölçüləri 8.30 nm - 73.75 nm intervalındadır.

Aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlı Cu, Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin görünən şüanın təsiri altında metilen göy (MG) boyaq maddəsinin deqradasiyası üçün fotokatalitik aktivliyi öyrənilmişdir. Ber-Lambert qanununa əsasən boyaq maddəsi məhlulunun qatılığı onun udma qabiliyyəti ilə mütənasibdir, buna görə də deqradasiya effektivliyi aşağıdakı bərabərlikdən hesablanmışdır¹⁰:

¹⁰ Singh R., Barman P.B., Sharma D. Synthesis, structural and optical properties of Ag doped ZnO nanoparticles with enhanced photocatalytic properties by photodegradation of organic dyes // J. Mater. Sci. Mater. Electron, – 2017, 28, – p. 5705–5717.

R (%) =
$$\frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100\%$$

Burada C₀ və A₀ - müvafiq olaraq boyaq maddəsinin ilkin qatılığı və ilkin udulması, C və A - müvafiq olaraq müəyyən müddətdən sonra boyaq maddəsinin qatılığı və udulmasıdır.

Təcrübi nəticələrə əsasən işıqda katalizator və oksidləşdirici (H₂O₂) iştirakında MG boyaq maddəsi üçün deqradasiya effektivliyi dəqiqədən sonra 79.20% olmuşdur. Katalizatorsuz 330 və oksidləşdirici iştirakında boyaq maddəsində çox zəif parçalanma baş vermişdir və deqradasiya effektivliyi 330 dəqiqədən sonra 2.72% olmuşdur. Cu_{0.02}Co_{2.98}O₄ NH-ləri iştirakında deqradasiya effektivliyi həmin müddətdən sonra 87.51%-ə qədər artmışdır. Cu_{0.04}Co_{2.96}O₄, Cu_{0.06}Co_{2.94}O₄, Cu_{0.1}Co_{2.9}O₄ NH-ləri iştirakında isə deqradasiya effektivliyi 330 dəqiqədən sonra müvafiq olaraq 74.66%, 85%, 65.60% olmuşdur. Misin yüksək qatılığında fotokatalitik aktivliyin azalması həddindən artıq oksigen boşluqların və aşqar elementin yüksək miqdarının fotoinduksiya olunmuş elektron və deşiklərin rekombinasiya mərkəzləri kimi çıxış etməsi ilə əlaqələndirilə bilə¹¹.

Sonokimyəvi metodla sintez olunmuş, müxtəlif qatılıqlarda Cu və Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin xassələrinin tədqiqi. Şəkil 12-də aşqarlanmanış və müxtəlif qatılıqlarda (2%, 4%, 6%, 10%) Cu ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin 400°C temperaturda 2 saat müddətində termiki emaldan sonrakı RD metodu ilə analiz nəticələri göstərilmişdir. Aşqarlanmanış nümunəyə aid difraktoqramda 20=37.40°, 43.36°, 62.98°, 75.42° və 79.58° qiymətlərdə beş enli difraksiya pikləri müşahidə olunmuşdur. Bu difraksiya bucaqlarına müvafiq (111), (200), (220), (311) və (222) müstəviləri səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşlu NiO-in formalaşmasını göstərir. Bu nəticələr JCPDS #47-1049 standartına uyğun gəlir. NiO NH-lərinin ölçüsü, müstəvilər arası məsafə, qəfəs sabiti (111), (200) müstəvilərinə müvafiq piklərə əsasən təyin olunmuş və digər kristal quruluş parametrləri ilə birlikdə cədvəl 4-də göstərilmişdir.

¹¹ Hameeda B. Development of Cu-doped NiO nanoscale material as efficient photocatalyst for visible light dye degradation / B. Hameeda, A. Mushtaq, M. Saeed [et al.] // Toxin Rev., -2021, 40, -p. 1396–1406.



Şəkil 12. 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və 2%, 4%, 6%, 10% qatılıqlı Cu ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin rentgen difraktoqramları.

Cədvəl 4. 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və 2%, 4%, 6%, 10% qatılıqlı Cu ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin kristal quruluş parametrlərinin qiymətləri.

Nümunələr	20 (°)	Orta krist. ölçü (nm)	Müstə- vilər arası məsafə (Å)	Qəfəs gəril- məsi	Dislo- kasiya sıxlığı (10 ⁻²)	Qəfəs sabiti (Å)	Vahid qəfəs həcmi (Å) ³
NiO	37.40	4.59	2.403	0.0246	4.747	4.161	72.06
	43.36	4.91	2.085	0.0200	4.148	4.170	72.53
Cu _{0.02} Ni _{0.98} O	37.35	3.78	2.406	0.0300	6.999	4.167	72.34
	43.17	3.64	2.094	0.0270	7.547	4.188	73.44
Cu _{0.04} Ni _{0.96} O	37.35	4.21	2.406	0.0269	5.642	4.167	72.34
	43.33	3.92	2.087	0.0250	6.508	4.173	72.67
Cu _{0.06} Ni _{0.94} O	37.32	4.15	2.408	0.0273	5.806	4.170	72.51
	43.41	3.55	2.083	0.0276	7.935	4.166	72.29
Cu _{0.1} Ni _{0.9} O	37.37	3.46	2.404	0.0326	8.353	4.165	72.23
	43.21	3.42	2.092	0.0288	8.550	4.184	73.25

Şəkil 13-də aşqarlanmamış və müxtəlif qatılıqlarda (2%, 4%, 6%, 10%) Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin 400°C temperaturda 2 saat müddətində termiki emaldan sonrakı RD metodu ilə analiz nəticələri göstərilmişdir. Difraktoqramlardan göründüyü kimi, bu nümunələrdə gümüş və ya gümüş (I) oksidinə (Ag₂O) aid pik müşahidə olunmamışdır. 2%, 4% və 10% qatılıqlı Ag ilə aşqarlanmış NiO NHləri üstün (200) oriyentasiya, 6% qatılıqlı Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-ləri isə üstün (111) oriyentasiya ilə kristallaşmışdır. Bu NH-lərin məsafə, ölçüsü, müstəvilər arası qəfəs sabiti (111), (200) müstəvilərinə müvafiq piklərə əsasən təyin olunmus və digər kristal quruluş parametrləri ilə birlikdə cədvəl 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 13. 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və 2%, 4%, 6%, 10% qatılıqlı Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin rentgen difraktoqramları.

Aşqarlanmamış və 2%, 4%, 6%, 10% qatılıqlı Cu ilə aşqarlanmış NiO NH-ləri üçün E_g eni müvafiq olaraq 3 eV, 3.11 eV, 3.08 eV, 3.09 eV, 3.11 eV kimi hesablanmışdır. Ag ilə aşqarlanmış NiO (Ag_xNi_{1-x}O, x=0.02, 0.04, 0.06, 0.1) NH-ləri üçün isə E_g qiymətləri müvafiq olaraq 2.95 eV, 3.10 eV, 3.05 eV və 3.15 eV kimi hesablanmışdır. E_g qiymətlərində fərqin az olması NH-lərin ölçülərinin yaxın olması ilə əlaqədardır.

Cədvəl 5. 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış və 2%, 4%, 6%, 10% qatılıqlı Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin kristal quruluş parametrlərinin qiymətləri.

Nümunələr	2θ (°)	Orta krist. ölçü (nm)	Müstə- vilər arası məsafə	Qəfəs gəril- məsi	Dislo- kasiya sıxlığı (10 ⁻²)	Qəfəs sabiti (Å)	Vahid qəfəs həcmi (Å) ³
			(Å)				
NiO	37.40	4.59	2.403	0.0246	4.747	4.161	72.06
	43.36	4.91	2.085	0.0200	4.148	4.170	72.53
Ag _{0.02} Ni _{0.98} O	37.44	4.69	2.400	0.0241	4.546	4.157	71.84
	43.41	4.32	2.083	0.0227	5.358	4.166	72.29
Ag _{0.04} Ni _{0.96} O	37.55	4.30	2.393	0.0262	5.408	4.145	71.24
	43.60	3.97	2.074	0.0245	6.345	4.148	71.39
Ag _{0.06} Ni _{0.94} O	37.46	4.6	2.399	0.0245	4.726	4.155	71.73
	43.50	4.36	2.079	0.0224	5.260	4.158	71.86
Ag _{0.1} Ni _{0.9} O	37.50	4.41	2.396	0.0256	5.142	4.151	71.51
	43.58	3.72	2.075	0.0262	7.226	4.150	71.49

Şəkil 14-də 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış NiO NH-lərinin TEM və seçilmiş sahə elektron difraksiya (SAED) təsvirləri verilmişdir. Göründüyü kimi, hissəciklər sferikə bənzər morfologiyaya malik olub aqlomerasiyaya meyllidir. Nanohissəciklərin ölçüləri 3.24 nm - 12.09 nm intervalındadır. SAED ilə analiz təsviri bir neçə difraksiya halqalarından ibarətdir və bu, sintez olunmuş NH-lərin polikristal quruluşa malik olduğunu göstərir. 400°C-də termiki emal olunmuş 10% Cu və Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin TEM təsvirlərinə əsasən (Şəkil 15) ölçülər müvafiq olaraq 7.59 nm - 47.87 nm və 3.04 nm - 16.34 nm intervalındadır.



Şəkil 14. 400°C-də termiki emal olunmuş aşqarlanmamış NiO NH-lərinin TEM və SAED ilə analizi.



Şəkil 15. 400°C-də termiki emal olunmuş 10% a) Cu və b) Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin TEM təsvirləri

Aşqarlanmamış NiO NH-ləri iştirakında işıq şüasının təsiri altında MG boyaq maddəsi üçün deqradasiya effektivliyi 5 saatdan sonra 34.01% olmuşdur. Misin yüksək qatılıqları (6% və 10%) ilə aşqarlanmış NiO NH-ləri iştirakında boyaq maddəsinin zamandan asılı olaraq deqradasiyası baş verməmişdir. Cu_{0.02}Ni_{0.98}O NH-ləri iştirakında deqradasiya effektivliyi 5 saatdan sonra 25.40% olmuşdur. Cu_{0.04}Ni_{0.96}O NH-ləri iştirakında deqradasiya effektivliyi 3 saatdan sonra 13.91% olmuş və bu müddətdən sonra isə deqradasiya baş verməmişdir. Ag_{0.1}Ni_{0.9}O NH-ləri iştirakında deqradasiya baş verməmiş, Ag_{0.02}Ni_{0.98}O, Ag_{0.04}Ni_{0.96}O, Ag_{0.06}Ni_{0.94}O NH-ləri iştirakında isə effektivlik 5 saatdan sonra müvafiq olaraq 43.91%, 30.59% və 43.83% olmuşdur.

Aşqarlanmamış, aşağı (x=0.02) və yüksək (x=0.1) qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ və NiO NH-lərinin PVS ilə nanokompozitləri hazırlanmış və müxtəlif temperaturlarda (25°C, 40°C, 60°C, 80°C, 100°C) dielektrik sabitinin həqiqi qiymətinin (ɛ') tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir. Bütün nümunələr üçün temperaturun 25°C-dən 100°C-ə qədər artması ilə dielektrik sabitinin qiymətinin artması müşahidə edilmişdir. Bütün nümunələr üçün tezliyin artması ilə dielektrik sabitinin azalması müşahidə edilmiş və sonra yüksək tezlikli sahədə demək olar ki, sabit qiymətə çatmışdır. Bu cür dəyişmə Maksvel-Vaqner modeli ilə izah olunmuşdur.

Oksidləşmə-reduksiya üsulu ilə sintez olunmuş nikel/nikel oksid nanozəncirlərinin tədqiqi. 25 mT maqnit sahəsinin təsiri dəq. reaksiya müddətində sintez olunmuş altında 30 Ni nanozəncirlərin RD nəticələrinə əsasən 20-nın 44.33°, 52.07° və 76.57° qiymətlərində üç pik müşahidə olunmuşdur (Şəkil 16). Bu dərəcələrə müvafiq (111), (200) və (220) Miller indeksli difraksiya pikləri səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşlu Ni nanokristallarına uyğun gəlir (JCPDS- 04-0850). Bu nümunələrin 400°C-də termiki emalından sonra 20-nın 37.10°, 43.14° və 62.71° qiymətlərində əlavə üç kiçik intensivlikli pik müşahidə olunmuşdur. Bu dərəcələrə müvafiq (111), (200) və (220) Miller indeksli difraksiya pikləri səthə mərkəzləşmiş kubik quruluşlu NiO-ə (JCPDS #47-1049) uyğun gəlir. Bu onu göstərir ki, Ni nanozəncirlərin səthi kiçik ölçülü NiÖ ilə örtülüdür. Bu difraktoqramda nikelə məxsus piklərin intensivliyi

artmış və pikin eni kiçilmişdir. Bu, yüksək temperaturda hissəciklərin ölçüsünün artması ilə əlaqədardır. Temperaturu 600°Cyə qədər artırdıqda nikelə aid piklərin intensivliyi azalmış, nikel oksidə aid piklərin intensivliyi isə artmışdır və hissəciklərin ölçüsü NiO-in 43°-də müşahidə olunan pikə əsasən 15.33 nm kimi qiymətləndirilmişdir. Oxşar xassələr 42 mT və 81 mT maqnit sahədə sintez olunmuş nümunələr (Şəkil 17) üçün də müşahidə olunmuşdur.



Şəkil 16. a) Müxtəlif maqnit sahələrinin təsiri altında sintez olunmuş Ni nanozəncirlərin və b) 25 mT maqnit sahədə sintez olunmuş Ni/NiO nanozəncirlərin RD metodu ilə analizi.

Müxtəlif xarici maqnit sahələrinin təsiri altında sintez olunmuş nümunələr üçün hesablanmış orta kristallik ölçülər və Eg qiymətləri cədvəl 6-da göstərilmişdir. Ni və NiO üçün kristallitlərin ölçüsü difraktogramdakı intensiv pikə ən əsasən ayrı-ayrılıqda hesablanmışdır. Nəticələrdən göründüyü kimi, maqnit qüvvənin artması ilə nanozəncirdə Ni NH-lərin orta ölçüsü azalmışdır. Nümunələrin 600°C-də oksidləşməsindən sonra Ni nanozəncirlərin səthində formalaşan NiO-in ölçüsü maqnit qüvvənin artması ilə artmışdır. Bu, yüksək səth enerjisi səbəbindən kiçik ölçülü hissəciklərin daha sürətli oksidləsməsi ilə əlaqədardır. Bu cür artımın ikinci səbəbi hissəciklərin öz aralarında birləşməsi ola bilər.



Şəkil 17. a) 42 mT və b) 81 mT maqnit sahədə sintez olunmuş Ni/NiO nanozəncirlərin RD metodu ilə analizi.

Cədvəl 6. Müxtəlif xarici maqnit sahələrinin təsiri altında sintez olunan nümunələrin kristallik ölçüsü və E_g qiymətləri.

Maqnit sahə intensivlivi	Nümunənin adı	Faza	20 (°)	RD ilə krist. ölçü (nm)	Eg (eV)
25 mT	As-prepared Ni	Ni	44.33	5.82	-
	Ni/NiO 400°C	Ni	44.30	18.37	3.81
		NiO	43.14	16.84	
	Ni/NiO 500°C	Ni	44.17	19.31	3.99
		NiO	43.05	15.38	
	Ni/NiO 600°C	Ni	44.13	20.36	3.67
		NiO	42.9	15.33	
42 mT	As-prepared Ni	Ni	44.49	1.98	-
	Ni/NiO 400°C	Ni	44.22	16.41	3.97
		NiO	37.07	11.67	
	Ni/NiO 500°C	Ni	44.28	17.4	3.93
		NiO	43.11	23	
	Ni/NiO 600°C	Ni	44.22	18.44	3.95
		NiO	43.12	20.76	
81 mT	As-prepared Ni	Ni	44.05	2.19	-
	Ni/NiO 400°C	Ni	44.22	17.74	3.86
		NiO	43.07	25.5	
	Ni/NiO 500°C	Ni	44.14	19.06	4.0
		NiO	42.97	25.71	
	Ni/NiO 600°C	Ni	44.08	20.35	3.87
		NiO	42.90	24.77	

SEM ilə analizin nəticələrinə (Şəkil 18) görə reaksiya müddəti 10 dəq. olduqda maqnit sahəsi tətbiq olunsa belə yaxşı dispersləşmiş orta ölçüsü 38.3 nm - 64.9 nm olan sferik NH-lər müşahidə olunmuşdur. Lakin reaksiya 30 dəq. davam etdikdə orta diametri 56.1 nm - 88.6 nm olan Ni hissəcikləri birləşərək xətti nanozəncirlər formalaşdırmışdır və zəncirin uzunluğu təxminən 6.92 µm-dir. Ni nanozəncirlərin 400°C-də oksidləşməsindən sonra nikelin səthində nikel oksidin əmələ gəlməsi səbəbindən nanozəncirlərin diametri təxminən 68.8 nm - 103 nm-ə qədər artmışdır. TEM ilə analizin nəticələrinə görə Ni/NiO nanozəncirlərin 600°C-də oksidləşməsindən sonra diametr 97 nm - 133 nm intervalındadır.



Şəkil 18. 25 mT xarici maqnit sahədə (a) 10 dəq. reaksiya müddətində; (b) və (c) 30 dəq. reaksiya müddətində sintez olunmuş nümunələrin; (d) 400°C-də oksidləşmədən sonrakı nümunənin SEM ilə analizi.

NƏTİCƏLƏR

- Co₃O₄ nazik təbəqələr SİLAR metodla iki müxtəlif altlıq (şüşə və silisium) üzərində sintez olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, istifadə olunan altlıqlar formalaşan NH-lərin quruluşuna təsir etmişdir. Belə ki, altlıq kimi şüşə istifadə etdikdə onun səthində formalaşan NH-lər də amorf quruluşa malik olmuşdur. Altlıq kimi səthi oksid təbəqəsindən təmizlənmiş silisiumdan istifadə etdikdə isə onun səthində zəif kristallik Co₃O₄ NH-ləri formalaşmışdır [4-5].
- 2. Co₃O₄ NH-ləri sonokimyəvi metodla müxtəlif stabilləşdiricilər iştirakında sintez olunmuşdur. Nəticədə bu stabilləşdiricilər NH-lərin ölçüsünə və optiki xassələrinə təsir etmişdir. Belə ki, stabilləşdirici kimi PVS, 3-MPT və stiroldan istifadə etməklə sintez olunmuş kobalt oksid NH-ləri üçün düz keçidli E_g eni müvafiq olaraq 1.75 eV və 3.10 eV; 1.65 eV və 3.55 eV; 2.10 eV və 3.20 eV-dur. Nanohissəciklərin ölçülərindəki fərq istifadə olunan stabilləşdiricinin polyar və ya qeyri-polyar olması, müxtəlif molekulyar çəki və fəza quruluşuna malik olması ilə əlaqələndirilə bilər [6-7].
- 3. Müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-lərinin sonokimyəvi metodla sintezi ilk dəfə olaraq həyata keçirilmişdir. Bu zaman NH-lərin ölçülərində və Eg eninin qiymətlərində fərqlər yaransa da yeni difraksiya pikləri yaranmamışdır. Bu hal aşqar elementlərin kristal qəfəsə daxil olması ilə izah edilir [17-21].
- 4. Cu və Ag ilə aşqarlanmış Co₃O₄ NH-ləri fotokatalizator kimi metilen göy boyaq maddəsinin görünən işıqda deqradasiyası üçün istifadə olunmuşdur. Ən yüksək fotodeqradasiya effektivliyi (87.51%) Cu_{0.02}Co_{2.98}O₄ NH-ləri iştirakında müşahidə olunmuşdur. Belə ki, katalizator kimi bu NH-lərdən istifadə etdikdə elektron-deşik cütü rekombinasiyasının azalması və radikalların formalaşması üçün sərbəst elektron və deşiklərin əmələ gəlməsi deqradasiya effektivliyinin artmasına səbəb olmuşdur [17].
- 5. Müxtəlif qatılıqlı Cu və Ag ilə aşqarlanmış NiO NH-lərinin sonokimyəvi metodla sintezi ilk dəfə olaraq həyata keçirilmişdir.

Bu zaman NH-lərin E_g eninin qiymətlərində fərqin az olması hissəciklərin ölçülərinin yaxın olması ilə əlaqəlidir. Bu NH-lər katalizator kimi metilen göy boyaq maddəsinin görünən işıqda fotodeqradasiyası üçün istifadə olunduqda, aşqarlanmamış NiO NH-lərinə nəzərən Ag_{0.02}Ni_{0.98}O iştirakında deqradasiya effektivliyində artım müşahidə olunmuşdur [9].

 Maqnit sahəsinin təsiri altında Ni nanozəncirləri sintez edilmiş və daha sonra müxtəlif temperaturlarda səthi oksidləşdirməklə Ni/NiO nanozəncirləri əldə olunmuşdur. Temperaturun artması ilə Ni/NiO nanozəncirinin diametri artmış və bu hal oksidləşmə prosesi ilə əlaqələndirilmişdir. Belə ki, SEM və TEM nəticələrinə müvafiq olaraq 400°C-də termiki emal olunmuş Ni/NiO nanozəncirlərinin diametri 68.8nm – 103 nm, 600°C-də isə 97 nm – 133 nm intervalındadır [8].

Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlər:

- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Maharramov A.M., Eyvazova G.M. Synthesis and optical characterization of Co₃O₄ thin films // II International scientific conference of young researchers, – Baku: – 27-28 April, – 2018, – p.184-186.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Maharramov A.M., Eyvazova G.M., Balayeva O.O., Aghamaliyev Z.A., Gahramanli L.R. Synthesis of Co₃O₄ thin films by SILAR method at different substrates // 5th International Conference "Nanotechnologies", – Tbilisi: 19-22 November, –2018, –p.121.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Maharramov A.M., Aliyeva A.A. Synthesis of CoO and Co₃O₄ nanoparticles by sonochemical method // 1st International science and engineering conference, Baku: 29-30 November, –2018, p.62-63.
- Məmmədyarova S.C. Oksidləşdiricinin qatılığının Co₃O₄ nazik təbəqələrinin formalaşmasına təsiri / S.C.Məmmədyarova, M.B.Muradov, A.M.Maharramov [və b.] // Bakı Universitetinin xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, -2018. №2, -s.11-19.
- Mammadyarova S.J. Characterization of Co₃O₄ thin films synthesized by SİLAR method / S.J.Mammadyarova, M.B.Muradov, A.M.Maharramov [et al.] // Journal of Baku Engineering University. Physics, -2018. 2 (2), - p.87-94.
- Mammadyarova S.J. Structural and optical characterization of cobalt oxide synthesized by sonochemical method / S.J.Mammadyarova, M.B.Muradov, A.M.Maharramov [et al.] // Journal of Low Dimensional Systems, -2019. 3 (1), - p.4-8.
- Mammadyarova S.J. Influence of stabilizing agents on structural and optical properties of cobalt oxide nanoparticles synthesized by an ultrasound-assisted method / S.J.Mammadyarova, M.B.Muradov, A.M.Maharramov [et al.] // Spectroscopy Letters, - 2019. 52(10), - p.677-686.
- 8. Mammadyarova S.J. Synthesis and Characterization of Ni/NiO nanochains / S.J.Mammadyarova, M.B.Muradov,

A.M.Maharramov [et al.] // Materials Chemistry and Physics, – 2021. 259, – p.1-7.

- 9. Mammadyarova S.J. The synthesis methods of nickel oxide nanostructures-a brief review // Вестник НЯЦ РК, 2021. 1 (85), p.73-82.
- Mammadyarova S.J. Synthesis and characterization of cobalt oxide nanostructures- a brief review // Azerbaijan Chemical Journal, - 2021. № 2, - p.80-93.
- Mammadyarova S.J. The properties of nickel oxide nanostructures-a brief review // Bakı Universitetinin xəbərləri. Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası, – 2021. №4, – s.78-85.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Eyvazova G.M., Aghamaliyev Z.A., Balayeva O.O. The effect of magnetic field on structural and optical properties of Ni/NiO nanochains // 2nd International Conference on Light and Light-Based Technologies: ICLLT-2021, – Ankara: –26-28 May, – 2021, – p.107.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Eyvazova G.M., Balayeva O.O. Structural and optical properties of cobalt oxide nanoparticles stabilized with 3-mercaptopropionic acid // 1st International Symposium on Recent Advances in Fundamental and Applied Sciences (ISFAS-2021), Erzurum: –10-12 September, –2021, p.180.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Maharramov A.M., Eyvazova G.M., Aghamaliyev Z.A., Balayeva O.O. Structural and optical characterization of Ni/NiO nanochains // 6th International Conference "Nanotechnology" (GTUnano20), -Tbilisi: – 4-7 October, -2021, – p.82.
- Muradov M.B., Mammadyarova S.J., Eyvazova G.M., Balayeva O.O. Synthesis of Ag-doped Co₃O₄ nanoparticles by sonochemical method // 7th International Conference MTP-2021: Modern Trends in Physics, –Baku: –15-17 December, –2021, p.76-77.
- Muradov M.B., Mammadyarova S.J., Eyvazova G.M., Balayeva O.O. Synthesis of copper doped cobalt oxide nanoparticles by

sonochemical method // Cukurova 8th International Scientific Researches Conference, – Adana: –15-17 April, –2022, – p.720.

- Muradov M.B. The effect of Cu doping on structural, optical properties and photocatalytic activity of Co₃O₄ nanoparticles synthesized by sonochemical method / M.B. Muradov, S.J. Mammadyarova, G.M. Eyvazova [et al.] // Optical Materials, – 2023. 142, – p.1-15.
- Muradov M.B. Sonochemical synthesis and characterization of structural, optical and dielectric properties of Ag-doped Co₃O₄ nanoparticles / M.B. Muradov, S.J. Mammadyarova, G.M. Eyvazova [et al.] // Journal of Cluster Science, -2023. – p.1-17.
- Mammadyarova S.J., Muradov M.B., Eyvazova G.M., Balayeva O. O. Sonochemical synthesis of Cu-doped Co₃O₄ nanoparticles for photocatalytic degradation of methylene blue // Nanoscience & Nanotechnology Conference, –Rome: –29 May-1 June, –2023, p.99-101.
- Mammadyarova S.J., Muradov M. B., Eyvazova G.M., Balayeva O. O. Synthesis of Ag-doped Co₃O₄ nanoparticles by sonochemical method // 8th International Conference: "MTP-2023" Modern Trends in Physics, -Baku: -30 November 1 December, -2023, p.35-36.
- Muradov M.B. Synthesis of Cu_xCo_{3-x}O₄ nanoparticles by sonochemical method and characterization of structural, optical properties and photocatalytic activity for the degradation of methylene blue / M.B.Muradov, S.J.Mammadyarova, G.M. Eyvazova [et al.] // RSC Advances, -2024. 14, -p.1082-1093.

pleuf.

Dissertasiyanın müdafiəsi <u>23</u> <u>may</u> 2025-ci il tarixində saat <u>10</u> Bakı Dövlət Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən BED 2.16 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəh., Zahid Xəlilov küçəsi-33, əsas bina Az 1141.

Dissertasiya ilə Bakı Dövlət Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Bakı Dövlət Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat <u>22</u> <u>aprel</u> 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 04.04.2025 Kağızın formatı: A5 (60x90 1/16) Həcm: 39129 Tiraj: 100