

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RADİASIYA PROBLEMLƏRİ İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

RZAYEVA AYBƏNİZ GÜLOĞLAN qızı

Ni İLƏ AŞQARLANMIŞ Cu-S SİSTEM BİRLƏŞMƏLƏRİNDƏ
QURULUŞ-FAZA ÇEVİRİLMƏLƏRİ

2225.01-Radiasiya materialşünaslığı

2220.01- Yarımkəçiricilər fizikası

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ – 2018

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərləri:

Fizika-riyaziyyat
elmləri doktoru, professor

Vaqif İbad oğlu Nəsirov

Fizika-riyaziyyat
elmləri doktoru, professor

Hüseyn Behbud oğlu İbrahimov

Rəsmi opponentlər:

Fizika-riyaziyyat
elmləri doktoru, professor

Yusif Quşu oğlu Nurullayev

Fizika-riyaziyyat
elmləri doktoru

Rəşad Nizaməddin oğlu Rəhimov

Aparıcı təşkilat:

Azərbaycan Texniki Universitetinin
fizika kafedrası

Dissertasiyanın müdafiəsi “___” _____ 2018-ci il tarixdə saat ___-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D 01.221 Dissertasiya Şurasının iclasında olacaqdır.

Ünvan: AZ 1143, Bakı ş. B.Vahabzadə küçəsi, 9.

E-mail: director.rpi@gmail.com

Dissertasiya işi ilə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “___” _____ 2018-ci ildə göndərilmişdir.

Disseratasiya Şurasının elmi
katibi, kimya üzrə elmlər
doktoru, professor:

Ağayev Teymur Nəmətulla oğlu

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Yüksək ion və elektron keçiriciliyini, mexaniki davamlı və möhkəm elastikliyi özündə əks etdirən bərk elektrolitlərin alınması həm elmi, həm də praktiki baxımdan böyük maraq doğurur. Mis xalkogenidləri möhkəm maddələr olmaqla yanaşı, yüksək kation ion keçiriciliyinə və diffuziya əmsalına malik yarımkeçiricilər olub, klassik super ion keçiricilər sırasına daxildir. Bu birləşmələrin quruluşunda kristal qəfəsi karkası kükürd atomlarına məxsus olub, metal atomları kükürd atomları arasında üçbucaq və tetraedrik boşluqlarda statistik paylanır. Bu tip birləşmələrin, o cümlədən Cu-S sistem birləşmələrinin kristal qəfəsində metal atomları çox mütəhərrik olub, xarici şəraitdən asılı olaraq (temperatur, təzyiq və s.) qəfəsin boşluqları boyu asanlıqla hərəkət edə bilirlər. Məhz bu səbəbdən və bununla bağlı çoxsaylı quruluş dəyişmələri hesabına həmin birləşmələrdə əsas fiziki-kimyəvi xassələr dəyişə bilər.

Həmin xassələrin tədqiqi və mis atomlarının digər metal atomları ilə qismən izomorf əvəz olunmasının, habelə γ şüalanmanın quruluş çevrilmələrinin xarakterinə təsirinin öyrənilməsi, ayrı-ayrı stabil modifikasiyaların kristal quruluşunun təyini böyük elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir. Belə ki, mis xalkogenidləri əsasında super keçiricilər, termoelektrik material kimi enerji çevrilmələrində, eləcə də elektrik mənbəyi kimi, elektrokimyəvi sensorların, qeydedicilərin hazırlanmasında və müxtəlif cihazlarda istifadə olunur. Əsas praktiki məqsədlərdən biri yüksək termoelektrik effektivə malik, termoelektrik materiallar əldə etməkdir. Bunun üçün mis xalkogenidlərinin kristal qəfəsinə müxtəlif metal atomlarının daxil edilməsi bu istiqamətdə əsas yollardan biridir.

Cu_2X ($X=S, Se, Te$) tipli xalkogenidlərdə misin müxtəlif nisbətlərdə metal atomları ilə əvəz olunması ilə alınmış mürəkkəb tərkibli bərk məhlullar yüksək termoelektrik effektivinə malik materiallardır. Bu tip termoelektrik materiallarda istilikkeçirmənin nisbətən yüksək, mexaniki möhkəmliyin aşağı olması onların tətbiq sahələrini məhdudlaşdırır.

Cu_2S birləşməsində mis yüksək ərimə temperaturuna, kiçik qadağan olunmuş zonaya malik Ni atomları ilə qismən əvəz etməklə alınan birləşmənin fiziki-kimyəvi xassələrinin öyrənilməsi böyük elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Məhz buna görə də təqdim olunan işdə $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) tərkibli ərintiləri sintez etməklə alınan nümunələrdə və faza çevrilmələri araşdırılmış və radiasiyaya davamlılığı tədqiq olunmuşdur.

Dissertasiya işinin əsas məqsədi Cu_2S -də mis atomlarının Ni atomları ilə qismən əvəz olunmasının alınan birləşmənin real quruluşuna təsirini, faza əmələgəlmə prosesini, quruluş çevrilmələrinin qanunauyğunluqlarını və mexanizmini, habelə ayrı-ayrı modifikasiyaların stabilləşməsini, γ - şüalanmanın bu stabilləşməyə təsirini müəyyən etməkdir.

Bu məqsədlə aşağıdakı məsələlər həll olunmuşdur:

- $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) birləşməsi sintez olunaraq monokristalları alınmışdır.

-Alınan nümunələrdə mikrostruktur və rentgenfaza analizi aparılmışdır.

-Yüksək temperatur retgendifraktometrik üsulla tədqiq olunan nümunələrdə quruluş faza çevrilmələri, ayrı-ayrı modifikasiyaların kristal qəfəsi parametrləri və onların temperatur asılılığı, habelə hər bir modifikasiyanın dayanıqlıq temperaturu intervalı və istidən genişlənməsi öyrənilmişdir.

- $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) bu kristallarında DTA tədqiqatları aparılmış və kinetik parametrlər hesablanmışdır.

- Tədqiq olunan kristallarda quruluş çevrilmələrinə γ - şüalanmanın təsiri aydınlaşdırılmışdır.

- Cu_2S -də Cu atomlarının Ni_i atomları ilə qismən əvəz olunmasının alınan kristallarda quruluş çevrilmələrinin xarakterinə və ayrı-ayrı modifikasiyaların stabilləşməsinə təsiri araşdırılmışdır.

- $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalında polimorf çevrilmələrin termodinamik analizi aparılmışdır.

-Tətbiq olunan nümunələrdə polimorf çevrilmələrin mexanizmi müəyyən olunmuşdur.

Tədqiqat obyektini kimi identik şəraitdə yetişdirilən $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) kristalları götürülmüşdür.

Elmi yeniliklər:

-İlk dəfə olaraq $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) birləşmələri sintez olunaraq monokristalları alınmış, retgendifraktometrik və diferensial termik analizi (DTA) üsulları ilə tədqiq olunmuşdur.

-Retgenoqrafik üsulla müəyyən olunmuşdur ki, $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ kristalları otaq temperaturunda ortorombik quruluşa malik olub,

temperaturun təsiri ilə həmin nümunələrdə ortorombik → heksaqonal → ÜMK polimorf çevrilmələri baş verir.

-Müəyyən edilmişdir ki, Cu_2S tərkibində Cu atomlarının N_i atomları ilə qismən əvəz edilməsi çevrilmə temperaturunun artmasına səbəb olur.

-Müəyyən edilmişdir ki, x -in müxtəlif qiymətlərində polimorf modifikasiyaların sabitlik temperatur intervalı nəzərə çarpacaq dərəcədə artmasa da, $x=0,20$ qiymətindən başlayaraq fazanın sabitlik oblastı 50 K-ə qədər artır.

- 25 Mrad dozalı γ -şüalanma tədqiq olunan nümunələrdə quruluş çevrilmələrinin xarakterinə nəzərə çarpacaq təsir göstərmir.

-Tədqiq olunan nümunələrdə quruluş çevrilmələri enantiotrop olub, $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ və $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ ardıcılığı ilə baş verir.

-Tədqiq olunan nümunələrdə polimorf çevrilmələr monokristal → monokristal tiplidir.

İşin praktiki əhəmiyyəti. Aparılan tədqiqat işinin nəticələri analogi yarımkeçirici kristalların sintezi texnologiyasında və monokristallarının yetişdirilməsində, habelə bu tip kristallarda polimorf çevrilmələrin mexaniziminin aydınlaşdırılmasında, həmin tip kristalların fiziki xassələrində müşahidə oluna biləcək praktiki əhəmiyyətli effektlərin izahında istifadə oluna bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. $-\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) sintez olunaraq ehmal soyutma və Briçmen üsullarının kombinasiyası ilə monokristalları yetişdirilmişdir. Tətbiq olunan üsulla alınan birləşmələrin yüksək temperatur fazası quruluş çevrilməsi nəticəsində qəbitusu saxlanılmaqla otaq temperaturunda aşağı temperatur modifikasiyasına çevrilmişdir.

- Alınan nümunələrdə 300-1200K temperatur intervalında iki polimorf çevrilmə, üç polimorf modifikasiya mövcuddur və temperaturun artması ilə ortorombik → heksaqonal → ÜMK ardıcılığı ilə quruluş faza çevrilmələri baş verir.

a) $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalı otaq temperaturunda ortorombik quruluş malik olub $T=379$ K temperaturda heksaqonal qəfəsə, $T=756$ K temperaurda isə heksaqonal qəfəsə öz növbəsində ÜMK qəfəsə çevrilir.

b) Otaq temperaturunda ortorombik qəfəsə malik olan $\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$ kristalında $T=379$ K temperaturda $\alpha \rightarrow \beta$ və $T=673$ K temperaturda isə $\beta \rightarrow \gamma$ çevrilməsi baş verir. β - modifikasiya heksaqonal, γ - modifikasiya isə ÜMK qəfəsə malikdir.

c) $\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$ kristalında ortorombik \rightarrow heksaqonal çevrilməsi $T=385$ K temperaturda, heksaqonal \rightarrow ÜMK çevrilməsi isə $T=785$ K temperaturda baş verir.

d) $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$ kristalında $\alpha \rightarrow \beta$ çevrilməsi $T=380$ K temperaturda, $\beta \rightarrow \gamma$ çevrilməsi isə $T=1079$ K temperaturda baş verir.

-Tədqiq olunan nümunələrdə $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ çevrilmələri zamanı temperatur histerezisi müşahidə olunur. $\alpha \rightarrow \beta$ çevrilməsi zamanı X -in miqdarı artdıqca ΔT -nin qiyməti kiçilir, $\beta \rightarrow \gamma$ çevrilmə zamanı isə böyüyür. Temperatur histerezisinin yaranmasını uyğun ölçüsüz, fazanın yaranması ilə izah etmək olar.

- DTA tədqiqatları nəticəsində müxtəlif nümunələrdə müşahidə olunan endoeffektlərin sayı müxtəlif olsa da, alınan nəticələrin təhlili onların eyni təbiətli olduğunu göstərir.

- 25 Mrad dozasında γ -şüalanma tədqiq olunan nümunələrdə quruluş çevrilmələrinin xarakterinə ciddi təsir göstərmir.

-Bütün nümunələr əks $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ çevrilmə zamanı müəyyən temperatur intervalında iki fazalı olur. x -in qiyməti artdıqca həmin temperatur intervalı böyüyür. $x=0,05$ qiymətində $\Delta T=40$ K, $x=0,2$ olduqda isə $\Delta T=89$ K- dir.

-Tədqiq olunan nümunələrdə faza çevrilmələri oblastından uzaqlaşdıqca faza halının flüktuasiyasını yaradan mənbə kristalın daxili enerjisinin dəyişməsilə bağlı temperatur qeyri-bircinsliyi və α , β , γ fazaların quruluş fərqlənmələri hesabına yaranan qeyri-bircinslikdir.

- $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalında $\alpha \rightarrow \beta$ çevrilmə zamanı termodinamik parametrlərin dəyişməsi $\beta \rightarrow \gamma$ çevrilmələrdəkindən kifayət qədər kiçikdir və bu α , β və β , γ fazaların həcmi və yaxud sıxlıqları fərqi ilə əlaqədardır.

-Tədqiq olunan nümunələrlə $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ çevrilmələri zamanı “orientasiya yaddaşı” özünü təzahür etdirir.

-Tədqiq olunan kristallarda quruluş faza çevrilmələri enantiotrop olub, monokristal \rightarrow monokristal tiplidir.

Nəşrlər. Dissertasiya mövzusunə aid 15 elmi məqalə çap olunmuşdur. Onlardan 7 elmi məqalə, 8 konfrans materiallarıdır.

İşin müzakirə dərcəsi. Təqdim olunan dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı konfranslarda müzakirə olunmuşdur.

-Fizikanın aktual problemləri Beynəlxalq Elmi Konfrans (Bakı, 6 dekabr 2013),

-Fizikanın müasir problemləri VII Respublika Konfransı (Bakı, 29-30 aprel 2013),

- Gənc tədqiqatçıların IV Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, 2016),
- Fizikanın müasir problemləri (Bakı, 2016)
- Bərk cisimlər fizikası üzrə Beynəlxalq Elmi Konfrans (Minsk, 22-26 noyabr 2016)
- Metallar fizikasının müasir problemləri Beynəlxalq Elmi Konfrans (Bakı, 10-11 iyun 2016)
- Gənc tədqiqatçıların I Beynəlxalq Konfransı (Bakı, BMU, 5-6 may 2017)
- Beynəlxalq Elmi və Texnologiya Konfransı (Bakı, ATU,23-25 noyabr 2016)
- Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri Beynəlxalq Elmi konfransı (Sumqayıt, SDU, 24-25 may, 2018)

İşin həcmi, quruluşu və qısa məzmunu. Dissertatsiya giriş, beş fəsil, nəticələr və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin həcmi 151 səhifə olub, 20 şəkil, 21 cədvəl, 25 qrafik vardır. İstifadə olunan ədəbiyyat 148 addadır.

Girişdə dissertasiyanın mövzusunun aktuallığı əsaslandırılaraq işin məqsədi, müdafiyyə çıxarılan müddəalar və elmi yeniliklər göstərilmiş, alınan nəticələrin praktik əhəmiyyəti əsaslandırılmışdır.

Birinci fəsildə ədəbiyyat xülasəsi verilərək polimorfizmin müxtəlif dövrlərdə müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən verilən təsnifatı nəzərdən keçirilmiş, Burgerin verdiyi təsnifat ətraflı təhlil olunmuşdur. Bu fəsildə polimorfizmə həm termodinamik həm də quruluş aspektindən baxılmış, bu gün də problemləli olan polimorf çevrilmələrin sürəti məsələsi ətraflı təhlil olunmuş, polimorf çevrilmələrin sürətinə olan nəzəri baxışa münasibət bildirilmişdir.

İkinci fəsil Cu-S sistem birləşmələrinin quruluşu və faza çevrilmələrinə həsr olunmuşdur. Bu fəsildə Cu-S sisteminin müxtəlif müəlliflər tərəfindən təklif olunan faza diaqramlarına baxılmış, Cu_2S (xalkozin), $\text{Cu}_{1.96}\text{S}$ (yurilit), Cu_9S_6 (digenit), Cu_2S_4 (anilit), CuS (kovellin), Cu_{2-x}S , $\text{Cu}_{2-x}\text{M}_x\text{S}$ ($\text{M}=\text{Zn}, \text{Ni}, \text{Fe}$) kristallarının kristal quruluşu və polimorfizmi şərh olunaraq müxtəlif tədqiqatçıların aldıkları müəyyən ziddiyətli nəticələr təhlil olunaraq müqayisələr aparılmışdır.

Üçüncü fəsildə $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0.05; 0.1; 0.15; 0.2$) birləşmələrinin alınması və monokristallarının yerləşdirilməsi ətraflı şərh olunmuşdur. Tədqiq olunacaq ərintiləri sintez etmək üçün stexiometrik tərkibdə götürülmüş ilkin elementlər, içərisi 0,133 Pa təzyiqə kimi havasızlaşdırılmış kvars ampulaya daxil edilmiş və proses $800-1150^\circ\text{C}$

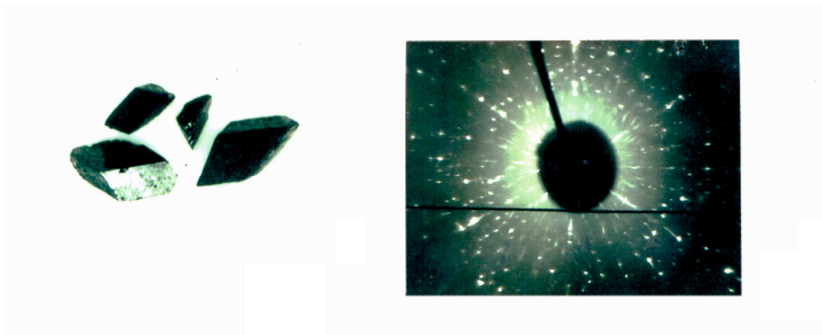
temperatur intervalında aparılmışdır. Sintez zamanı aşağıdakı təmizlikli: Cu-99.998, Ni-99.99 96 və OC4 markalı kükürd götürülmüşdür.

МММ-7 tipli mikroskopda əks olunan şüalarda aparılan mikrostruktur analizi nümunələrin bir fazalı olduğunu göstərmişdir

Tələb olunan tərkiblərin monokristallarını əldə etmək üçün ehməlcə soyutma ilə Bricsmen metodunun kombinasiyasından istifadə olunmuşdur. Həmin üsulun mahiyyəti aşağıdakı kimidir: tədqiq olunacaq tərkiblərin sintez olunan nümunələri doğranaraq uzunluğu 10 sm, daxili diametri 1 sm olan yüksək keyfiyyətli kvərs ampulaya daxil edilir. Ampulanın 10^{-3} Pa təzyiqə kimi havası sorulduqdan sonra isə o temperatur termonizəmləyici ilə nizəmlənən peçə daxil edilir.

Temperatur əvvəlcə $T=1400\text{K}$ -ə kimi qaldırılmış, həmin temperaturda 3 saat saxlandıqdan sonra elektromətor işə salınmış və onun köməyilə ampula 0,2 sm/saat sürətilə aşağı endirilmişdir. Peçin yuxarı hissəsində temperatur ərimə temperaturundan 50 K yuxarıda, ikinci zonasında isə həmin temperaturdan 50 K aşağıda saxlanılmışdır. Peçin yuxarı hissəsində ampuladakı tərkib ərinti halında olmuşdur.

Ampulanı iti ucu aşağı temperatur oblastından ərimə temperaturu nöqtəsini keçəndə yüksək temperatur modifikasiyasının kristal mərkəzləri yaranmağa başlayır. Nəticədə əvvəlcə yüksək temperatur ÜMK fazası yaranır və sonradan polimorf çevrilmə nəticəsində həmin fəza aşağı temperatur fazasına çevrilir. Şəkil 1-də $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ nümunəsinin otaq temperaturunda çəkilməş laueqramı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, nümunə monokristal şəklində alınmışdır.



Şəkil 1. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalı və onun otaq temperaturunda çəkilməş laueqramı

Bu fəsildə polimorf çevrilmələrin tədqiqat üsulları nəzərdən keçirilmiş, rentgenoqrafik üsulun üstünlükləri əsaslandırılmış və sonda optik qeyri-şəffaf kristallarda polimorf çevrilmələrin kinetikasının tədqiqi üsulu nəzərdən keçirilmişdir.

Dördüncü fəsildə. $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05, 0,1, 0,15, 0,2$) kristallarında qurluş-faza çevrilmələrinin tədqiqinin və bu çevrilmələrə γ - şualanmanın təsirinin nəticələri verilmişdir. Retgendifraktometrik üsulla müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan nümunələr otaq temperaturunda ortorombik quruluşa

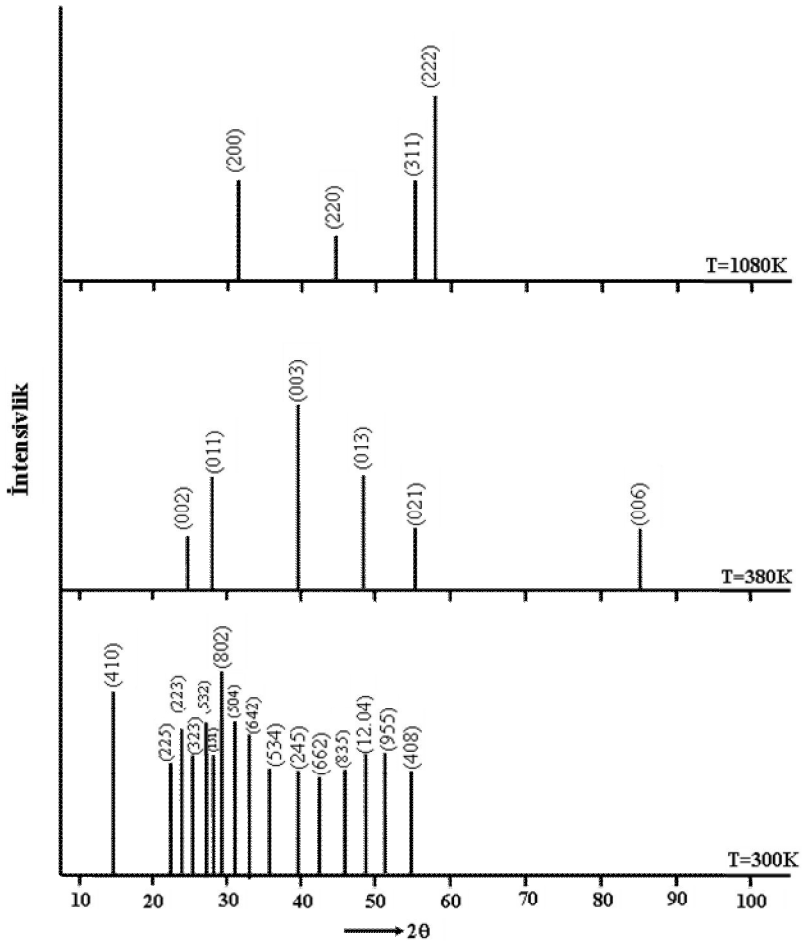
malik olub, ərimə temperaturuna kimi ortorombik→heksaqonal→ÜMK sxemi üzrə iki qurluş çevrilməsinə məruz qalırlar. Həmin kristalların polimorf modifikasiyalarının qəfəs parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1.

$\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05, 0,1, 0,15, 0,2$) məhlulunun polimorf modifikasiyalarının kristal qəfəsi parametrləri

Kristal qəfəsi parametrləri Tərkib	Ortorombik			Heksaqonal		ÜMK
	$a, \text{Å}$	$b, \text{Å}$	$c, \text{Å}$	$a, \text{Å}$	$c, \text{Å}$	$a, \text{Å}$
$\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$	26,49	15,39	13,85	3,429	6,721	5,788
$\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$	26,418	15,625	13,72	3,412	6,69	5,453
$\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$	26,92	15,72	13,568	3,376	6,614	5,684
$\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$	26,891	15,811	13,576	3,493	6,714	5,626

Ortorombik modifikasiya kristalının fəza qrupu $\text{Abm}2$, heksaqonal kristalınki $\text{P}6_{3/\text{mmc}}$ üzəmərkəzləşmiş kub qəfəsininki işə $Fm\bar{3}m$ olmuşdur. Şəkil 2-də nümunə üçün $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$ kristalının müxtəlif temperaturalarda ştrixqramı verilmişdir.



Şəkil 2. $\text{Cu}_{1.80}\text{Ni}_{0.20}\text{S}$ kristalının müxtəlif temperaturalarda ştrixqramı

Aparılan differensial termik analizin nəticələri rentgendifraktometrik nəticələrlə yaxşı uzlaşmışdır. Tədqiq olunan kristallarda aparılan DTA tədqiqatlarının nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2

$\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,15; 0,1; 0,2$) birləşmələrində endotermik effektlər və temperatur intervalından asılı olaraq kütlə itkisi

Nümunələrin tərkibi	DTA-endoeffektlər $t^{\circ}\text{C}$	Prosesin enerjisi $\Delta\varepsilon, \text{mCoul}$	$\frac{C_p}{H, \text{kJ}}$ Entalpiya	Kütlə itkisinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi temperatur intervalı, $^{\circ}\text{C}$		
$\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$	106	1150	15,66	20-241	241-483	483-950
	483	860,3	8,69	Const	6,8 %	13,8%
	522	737,83	7,48		Artır	Azalır
$\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$	112	938,64	15,76	20-320	320-950	
	452	272,87	4,58	Const	6,34%	
	532	528,96	8,88		Azalır	
	587	153,92	2,58			
$\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,1}\text{S}$	106	1609,4	14,7	20-234	234-495	495-950
	400	4102,91	37,50	Const	5,0%	13%
	503	311,43	2,86		Azalır	Azalır
	530	433,72	3,96			
	656	272,24	24,90			
$\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,2}\text{S}$	106	1955,9	13,61	20-228	228-630	630-950
	300	-	-	Const	11,4%	15%
	344	5308,71	36,97		artır	azalır
	803					

Cədvəl 2-dən görüldüyü kimi nümunələrin üçündə, yəni $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$; $\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$ və $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$ kristallarında eyni temperaturda 106°C -də, $\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$ -də isə 112°C temperaturda ilk endotermik effekt müşahidə olunur. Bu effektlərin enerjisi Cu_2S -də Ni-in miqdarı artdıqca böyüyür, entalpiyası isə kiçilir. $\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$ birləşməsində 803°C -də müşahidə olunan endoeffekt $\beta \rightarrow \gamma$ quruluş çevrilməsilə əlaqədardır ki, bu da rentgen tədqiqatları ilə təsdiq olunur. Bundan əlavə müxtəlif tərkiblərdə endoeffektlərin sayı müxtəlifdir. Alınan nəticələrin təhlili müşahidə olunan endoeffektlərin eyni təbiətli olduğunu göstərir.

DTA tədqiqatlarından sonra $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ kristalları ГYPX-100000 qurğusunda γ -şualarla şualandırılmışdır. Qeyd edək ki, işçi kameranın böyük həcmi ($\approx 36\text{m}^3$) hesabına güclü şualanma əldə etmək mümkün olmuşdur. Qurğunun standart mənbəyi C_o^{60} olub. Kamerada müxtəlif

şualanma dozası əldə etmək üçün ferrosulfid üsulu tətbiq olunmuşdur.

$$2,8 \cdot 10^4 \Delta D_n$$

Şualanma dozasının gücü $P = \tau$ ifadəsilə təyin olunmuşdur. Burada ΔD_n - mühitin optik sıxlığı, t - şualanma müddətidir. Bu üsuldən istifadə zamanı məhlulda udulan dozanın qiyməti müəyyən edilir. Udulan dozadan ekspozisiya dozasına keçmək üçün γ_{hava}

$$D_{mühit} = D_{hava} \frac{0,7 \gamma_{mühit}}{100 \gamma_{hava}}$$

İfadəsindən istifadə olunur. Burada $\gamma_{mühit}$ və $\gamma_{hava} - \gamma_{şualanma}$ mühitdə və havada udulma əmsallarıdır. Beləliklə, C_0^{60} üçün γ kvantların enerjisi $E = 1,25 \text{ MeV}$ olduğunu nəzərə alsaq, mühitlə havanın udulma dozası arasındakı əlaqə üçün

$$D_{mühit} (\text{rad}) = 0,968 D_{hava} (\text{rentgen})$$

alırıq.

Ölçmələrin xətası 5% olmuşdur. 25Mrad dozalı şualanmadan sonra $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05, 0,15, 0,2$) kristallarında DTA tədqiqatları aparılmış və bu tədqiqatların nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 3

γ -şаланма майа мяруз гойулмуш $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ в $\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$ бирляшмяляриндян алынан термограмларын щесабаты. Шцаланма дозасы: 25 Мрад

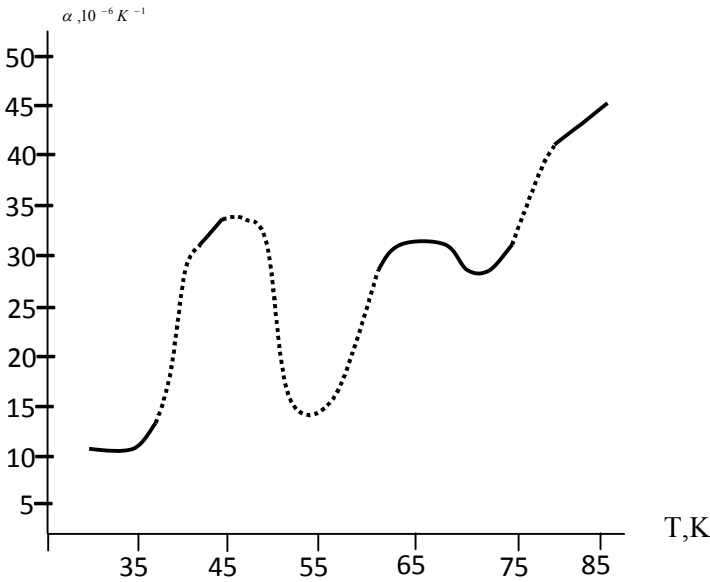
Нцмунялярин тяркиби	Ендоефектлярин температура, °Б	Енталпийасы. Щ, $\frac{C}{q}$
$\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$	111,2	20,01
	449,7	3,263
	532,9	20,59
	666	4,609
$\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{0,15}\text{S}$	111,6	19,85
	444,2	2,637
	528,0	0,1417
	543,0	1,253

Alınan nəticələr göstərir ki, tədqiq olunan nümunələr γ -şualanmanın təsirindən sonra da 3 polimorf modifikasiyaya malikdir və müxtəlif temperaturalarda bu birləşmələrdə quruluş fəza çevrilmələri baş verir. 25Mrad şualanma həmin nümunələrdə quruluş çevrilmələrinin temperaturuna az da olsa ($\sim 5-30^\circ\text{C}$) təsir göstərir. Lakin alınan əsas nəticə

kimi $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ kristallarının ən azından 25Mrad şualanmaya davamlılığını göstərmək olar.

Bu fəsildə $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ kristallarında qəfəs parametrlərinin temperatur asılılığı rentgenorafik olaraq tədqiq olunmuş, müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə istidən genişlənmə əmsalları hesablanmış və istidən genişlənmənin anizotropiyası müəyyən olunmuşdur. Buradan başqa bir nümunədə ($\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$) 300÷800K temperatur intervalında istidən genişlənmənin temperatur asılılığı DKC-900 dilatometrində öyrənilmişdir.

Aparılan təcrübənin nəticələri qrafik olaraq şəkil 3-də verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi tədqiq olunan nümunədə istidən genişlənmənin temperatur asılılığı mürəkkəb xarakterlidir.



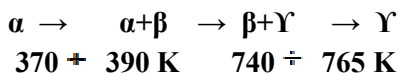
Şəkil 3. $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$ -də istidən xətti genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı

300÷350K temperatur intervalında xətti genişlənmə əmsalının 10.5-dən $12,5\text{K}^{-1}$ kimi zəif, 350-450K temperatur intervalında isə 12,5-dən $31,5\text{K}^{-1}$ -ə güclü artım müşahidə olunur. 450÷511K temperatur intervalında istidən genişlənmə əmsalı 31,5-dən 15K^{-1} -ə kimi azalır .Bu

temperaturda $\alpha(T)$ əyrisində aydın görünən minimum müşahidə edilir 521÷581 K temperatur intervalında $\alpha(T)$ 15K⁻¹-dən 28K⁻¹-ə kimi artır. 581÷707 K temperatur intervalında istidən genişlənmə əmsalı kəskin sürətdə 27,7K⁻¹-dən 43,25,K⁻¹ kimi artır. Nəhayət 738+ 800K temperatur intervalında α -nın 43,957⁻¹-dən 46,5k⁻¹-ə kimi zəif artımı müşahidə olunur. Bütövlükdə görüldüyü kimi 300+ 800K temperatur intervalında α -nın temperatur asılılığı doğrudan da mürəkkəb xarakter daşıyır.

Bəşinci fəsildə kristal mərkəzləri və polimorf çevrilmələrin mexanizmi barədə mülahizələr irəli sürülmüş, polimorf çevrilmələr zamanı “orentiyasiya yaddaşı” nın saxlanması arasında qarşılıqlı çevrilən modifikasiyalar arasında kristalloqrafik istiqamət əlaqələrinin saxlanılmasında rolu göstərilmişdir. Rentgen çəkilişləri vasitəsilə müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan nümunələrdə polimorf çevrilmələr əsasən monokristal→ monokristal tipli olub enantiotropdur və çevrilmələr zamanı bir çox hallarda “orentiyasiya yaddaşı” saxlanılır. Həmin fəsilə bir nümunə üçün (Cu_{1,95}Ni_{0,05}S) polimorf çevrilmələr zamanı termodinamik parametrlər hesablanaraq (rentgen və DTA nəticələrindən istifadə olunmaqla) tədqiq olunan nümunədə quruluş çevrilmələrinin rekonstruktiv olduğu bir daha təsdiqlənmişdir.

Cu_{2-x}Ni_xS rentgen struktur, diferensial termik analizi (DTA) nəticəsində alınmış eksperimental faktlar əsasında burada yaranan faza keçidlərinin təbiəti və başvermə mexanizmi öyrənilmiş, DTA nəticəsində bəzi termodinamik parametrlər yayılan faza kecidləri nəzəriyyəsinə istinad edərək müəyyənləşdirilmişdir. Belə ki, yaranmış yeni faza kecidlərinin hər birinə keyfiyyətə yeni flüktuasiya mərkəzləri kimi baxılmış və bunun əsasında kristalın daxili enerjisinin dəyişməsi həmin nöqtələrdəki qeyri bircinslilik α , β , Υ fazalarının yaranması ilə əlaqədar olduğu və onların hər birinin özlərini yeni polikristallik quruluş kimi təsəvvür etməklə Cu_{1,95}Ni_{0,05}S kristalında ayrı – ayrı fazalar nisbətinin temperaturdan asılılıq qanunu müəyyənləşmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, hər iki faza kecidini $\Delta S/R > \ln 2$ şərtini ödəyir. (ΔS –keçid üçün entropiyanın fərqi, R–universal qaz sabitidir). Bu o deməkdir ki, burada yaranan faza kecidləri təbiətə rekonstruktiv tipə aiddirlər. Rentgenstruktur analiz və DTA–nın nəticələri arasında korrelyasiya olduğu müəyyənləşdirilmişdir, yəni $\alpha \rightarrow \Upsilon$ kecidini



sxemi üzrə β fazadan keçməklə baş verir.

NƏTİCƏLƏR

1. İlk dəfə olaraq $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) birləşmələri sintez olunmuş, ehməl soyudulma və Bricmen üsullarının kombinasiyası ilə monokristalları yetişdirilmişdir. Birləşmələrin yüksək temperatur fazalarını soyutmaqla polimorf çevrilmə nəticəsində aşağı temperatur fazaları alınmışdır.

2. Yüksək temperatur rentgendifraksiyası üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki, $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ kristalları otaq temperaturunda ortorombik kristal qəfəsinə malik olub, ərimə temperaturuna kimi iki quruluş çevrilməsi baş verir:

$\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ -də 379 K-də ortorombik \rightarrow heksaqonal, 756 K-də heksaqonal \rightarrow ÜMK;

$\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$ -də 379 K-də ortorombik \rightarrow heksaqonal, 673 K-də heksaqonal \rightarrow ÜMK;

$\text{Cu}_{1,85}\text{Ni}_{1,15}\text{S}$ -də 385 K-də ortorombik \rightarrow heksaqonal, 785 K-də heksaqonal \rightarrow ÜMK;

$\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,20}\text{S}$ -də 380 K-də ortorombik \rightarrow heksaqonal, 1079 K-də heksaqonal \rightarrow ÜMK.

3. Tədqiq olunan nümunələrdə polimorf çevrilmələr zamanı temperatur histerezisi müşahidə olunmuş və bunun səbəbi kimi uyğun ölçüsüz fazanın yaranması göstərilmişdir.

4. Diferensial termik analiz (DTA) üsulu ilə aparılan təcrübədə müxtəlif nümunələr üçün müxtəlif sayda endoeffektlər müşahidə olunmuş və onların eyni təbiətli olduğu göstərilmişdir. 25 Mrad dozalı γ - şüalanmadan sonra tədqiq olunan nümunələrdə quruluş çevrilmələrinin xarakteri polimorf modifikasiyaların stabillik temperatur oblasti və çevrilmələrin sayı dəyişmir.

5. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalında $\alpha \leftrightarrow \beta \leftrightarrow \gamma$ polimorf çevrilmələri zamanı α fazanın (044), (433), (262), (191), (194) müstəviləri ilə β fazanın (002), (101), (102), (004), (194) müstəviləri, β fazanın (002), (004), (213) müstəviləri γ -fazanın (111), (222), (333) müstəviləri ilə eyni difraksiya bucağı altında müşahidə olunur. Bu qarşılıqlı çevrilən modifikasiyalar arasında kristalloqrafik istiqamət əlaqələrinin mövcudluğu ilə əlaqədardır. Çevrilmələr zamanı “oriyentasiya yaddaşı” özünü biruzə verir

6. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan nümunələrdə faza çevrilmələri oblastından uzaqlaşdıqca faza halının flüktuasiyasını yaradan mənbə kristalın daxili enerjisinin dəyişməsi ilə bağlı temperatur qeyri-bircinsliliyi və α, β, γ fazaların quruluş fərqləri hesabına yaranan qeyri-bircinslilikdir. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalında $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ çevrilməsi zamanı termodinamik parametrlərin dəyişməsi $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ çevrilmədəkindən kifayət qədər kiçikdir və bu α, β və γ fazaların həcmi və yaxud da sıxlıqlar fərqi ilə əlaqədardır.

7. $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,1; 0,15; 0,2$) kristallarında quruluş faza çevrilmələri enantiotrop olub, monokristal \rightarrow monokristal tiplidir.

DƏRC OLUNMUŞ ELMİ İŞLƏR

1. Nəsirov V.İ., Hüseynov Q.H., Əmirov A.S., Rzayeva A.G. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristallarında quruluş faza çevrilmələri. Elmi əsərlər, fundamental elmlər, Bakı AzTU, 2013, № 2 (44), səh. 99-104.
2. Nəsirov V.İ., Hüseynov Q.H., Rzayeva A.G. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristallarında quruluş faza çevrilmələri. "Fizikanın aktual problemləri", Beynəlxalq Elmi Konfrans materialları, Bakı, BDU, 2013, s.139-140
3. Nəsirov V.İ., İbrahimov H.B., Rzayeva A.G., Mirzəyev M.N., Məmmədov İ.M. $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,15; 0,1; 0,2$) kristallarının sintezi və diferensial termik analizi. ATU, Elmi əsərlər. Fundamental elmlər, Cild 2, 2015, səh.16-21.
4. Nəsirov V.İ., İbrahimov H.B., Rzayeva A.G. Structural phase transformation in $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,2}\text{S}$ crystal Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Cild LXXI, 2015, №3, səh. 28-31
5. Əliyev F.F., Rzayeva A.G. $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ kristalında quruluş çevrilmələrinin rentgenoqrafik və DTA Tədqiqatları nəticələrinin korrelyasiyası. Gənc tədqiqatçıların IV Beynəlxalq elmi konfransı, Bakı, 2016, səh.66-67
6. Nəsirov V.İ., İbrahimov H.B., Rzayeva A.G., Səfərova S.T. $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,12}\text{S}$ kristalında polimorfizm. V Beynəlxalq Elmi-praktik konfrans. Azərb. Memarlıq İnşaat Universiteti, Bakı, 2016, səh. 81-83
7. Nasirov V.I., Ibrahimov G.B., Rzayeva A.G. Structural Transformation $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ crystals Crystallography reports, Pleidas Publishing, j.nci, vol, 61, №7, 2016, pp-1-3

8. Алиев Ф.Ф., Мирзоев М.Н., Рзаева А.Г., Дамиров Г.М. Изменение термодинамических параметров $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$ при фазовых переходах. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və astronomiya, cild XXXVI, №5, Bakı, 2016, стр. 91-101
9. Алиев Ф.Ф., Гасанов Г.А., Рзаева А.Г., Эминова В.И. Определение типа фазовых переходов в $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$. Актуальные проблемы физики твердого тела. Сборник докладов Международной научной конференции. 22-25 ноября 2016 г., Минск, Том1, стр.199-202
10. Ibrahimov G.B., Rzayeva A.G. Temperature Dependence of coefficient linear thermal expansion of crystal $\text{Cu}_{1,80}\text{Ni}_{0,12}\text{S}$ Modern Science international scientific journal, №10, Moscow, 2016, pp.6-10
11. Nəsirov V.İ., Nəsirov E.V., Rzayeva A.G. $\text{Cu}_{1,90}\text{Ni}_{0,10}\text{S}$ kristalında quruluş çevrilmələri. İnformatika və kommunikasiya tex. Müasir vəziyyəti, Beynəlxalq Elmi-texniki Konfrans, 23-25 noyabr, Bakı 2016, səh. 42-47
12. Nəsirov V.İ., İbrahimov H.B., Rzayeva A.G. $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0,05; 0,15; 0,1; 0,2$) kristallarında quruluş faza çevrilmələrinin xüsusiyyətləri. Bakı Mühəndislik Universiteti, I international scientific conference of young researchers, 05-06 May 2017, Baku Azerbaijan, səh.45-46
13. Алиев Ф.Ф., Гасанов Г.А., Рзаева А.Г., Джафаров М.Б., Дамиров Г.М. Определение термодинамических параметров в областях фазовых переходов в $\text{Cu}_{1,95}\text{Ni}_{0,05}\text{S}$. Москва, Физика и техника полупроводников, том 52, вып.1, 2018, стр.76-83
14. Nəsirov V.İ., Rzayeva A.G., İbrahimov H.B., Abdullayev.A.P., γ -şüalanmanın $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) kristallarında polimorfizmə təsiri. Bakı AZTU elmi əsərlər ученые записки №1-2018 səh.33-37
15. Rzayeva A.G., İbrahimov H.B., Nəsirov V.İ., $\text{Cu}_{2-x}\text{Ni}_x\text{S}$ ($x=0.05, 0.10, 0.15, 0.20$) kristallarının istidən genişlənməsi. Bakı, BMU 27-28 Aprel 2018 səh.63-65

**СТРУКТУРНО- ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В
ЛЕГИРОВАННОЙ Ni СОЕДИНЕНИЯХ СИСТЕМЫ Cu-S
РЕЗЮМЕ**

В представленной работе, методами высокотемпературной рентгендифракции, дифференциально-термического и микроструктурного анализа в монокристаллах $Cu_{2-x}Ni_xS$ $x=0,05; 0,1; 0,15; 0,20$ исследованы структурные фазовые превращения и влияние γ -облучения на характер этих превращений.

Рентгендифракционным методом показано, что в интервале температур от комнатной до температуры плавления в исследуемых кристаллах происходят два структурных превращения по схеме орторомбическое \rightarrow гексогональная \rightarrow ГЦК.

Определены параметры и пространственные группы взаимно превращающихся модификаций. Обнаруживается температурный гистерезис при $\alpha \rightarrow \beta$, причина которого объясняется с образованием несоизмеримой фазы. Во всех исследуемых кристаллах структурные превращения $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ носят энантиотропный характер. При обратных $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ превращениях в определенном интервале температур образцы становятся двухфазными.

При ДТА исследованиях обнаружены эндоэффекты, которые соответствуют структурным превращениям, обнаруженные рентген дифракционным методом.

ДТА исследования в кристаллах проводились до и после γ -облучения. Показано что облучение дозы 25 Мрад не влияет на характер структурных превращений. Исследование термодинамических параметров показало, что их изменение при $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ превращениях значительно меньше чем при превращениях и $\alpha \rightarrow \rho \rightarrow \gamma$ и это объясняется различием объемой или плотностей α , β и γ фаз. При исследовании теплового расширения обнаружена анизатрония коэффициента теплового расширения. Рентгенографическим методом установлено, что имеются между взаимно-превращающимися модификациями обнаружены определенные кристаллографические связи и превращения эти являются типом монокристалл-монокристалл.

AYBENIZ RZAYEVA GULOGLAN

STRUCTURE-PHASE TRANSFORMATION OF THE Cu-S SYSTEM JOINTS WITH Ni ($x = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$)

SUMMARY

In the present work, by the methods of high-temperature X-ray diffraction, differential-thermal and microstructural analysis in men crystals $Cu_{2-x}Ni_xS$ ($x = 0.05; 0.1; 0,15; 0.20$) structural phase transformations and the influence of irradiation training on the nature of these transformations are studied.

X-ray diffraction method shows that in the temperature range from room temperature to the melting point, two structural transformations occur in the crystals under study in accordance with the orthorhombic \rightarrow hexagonal HTC scheme. The parameters and spatial groups of mutually changing modifications are determined.

A temperature hysteresis is observed at $\alpha \rightarrow \beta$, the cause of this hysteresis is explained by the formation of an incommensurable phase.

In all the crystals under study, structural transformations $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ are enantiotropic in nature. In reverse transformations in $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$ a certain temperature range, the samples become biphasic.

In DTA studies, endoeffects were found that correspond to the structural transformations detected by X-ray diffraction.

DTA studies in crystals were carried out before and after γ -irradiation. It is shown that dose irradiation of 25 Mrad does not affect the character of structural transformations. The study of the thermodynamic parameters showed that their change in the transformations $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ is much less than in the conversions and $\alpha \rightarrow \rho \rightarrow \gamma$ this is explained by the different volume densities of α , β and γ phases. In the study of thermal expansion, an anisotropy of the thermal expansion coefficient was observed.

X-ray diffraction between mutually-converting modifications has revealed certain crystallographic relationships and these transformations are a single crystal-single crystal type.

Format 60x84 ¹/₁₆ 1,5 ş.ç.v.
AMEA-nın mətbəəsində çap olunub.
Sayı: 100 nüsxə.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ**

На правах рукописи

РЗАЙЕВА АЙБЕНИЗ ГЮЛЬОГЛАН кызы

**СТРУКТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ В
ЛЕГИРОВАННОЙ Ni СОЕДИНЕНИИХ СИСТЕМЫ Cu-S**

2225.01-Радиационное материаловедение

2220.01-Физика полупроводников

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора
философии по физике

БАКУ -2018