“Qeyri-üzvi materialşünaslıq əsasları fənni”

“Qeyri-üzvi materialşünaslıq əsasları” fənni kursu kimya fakultəsinin tələbələri üçün nəzərdə tutulur. Bir semestr ərzində keçilməsi nəzərdə tutulur və qeyri-üzvi materialşünaslığın bir-neçə məsələsini əhatə edir. Bunlardan sintez strategiyası, qeyri-üzvi materialların hazırlanması və sintezinin xüsusi əhəmiyyət kəsb edən variantları, keramik və kimyəvi sintez metodları, interkalyasiya və sələfi maddələrin parçalanması, ifrat yüksək təzyiq, partlayış, elektirik qövsü, yüksək tezlikli metodlarla topokimyəvi proseslərin aparılması, metastabil fazaların, yüksək təmizliyə malik maddələrin, manokristalların, epitaksiya təbəqələrinin, yarımkeçiricilərin, çuqun və poladın, əlvan metal və xəlitələrinin, yüngül konstruksiya materiallarının, metal və qeyri-metal əsaslı kompozisiya materiallarının və həmçinin xüsusi xassələrə malik materialların (ferromaqnitın, istilik keçiriciliyi yüksək və pis olan maddələrin, varistorların, rezistorların, seqnetoelektiriklər və s.) şərhini əhatə edir.

Aydınlaşdırılır: Qeyri-üzvi maddələrin xüsusi alınma üsulları, yarımkeçirici maddələrin xüsusiyyətləri, xassələrinə təsir edən amillər, onların aşqarlanmasının texnologiyası və epitaksial təbəqələrinin alınması, monokristalların məhluldan və təmiz ərintilərdən alınma texnologiyası, bərk məhlulların və metallik materialların alınması, dəmir-karbon sistemində çevrilmələr, çuqun və polad, metal və xəlitələrin legirlənməsi, alüminium əsasında yüngül xəlitələr, maqnit materialların xarakterik xassələri, kompozisiya materialları və onların xassələri haqqında qısa məlumat verilir

Məruzə 1.

1.Qeyri-üzvi materialların sintez strtegiyası

Qeyri-üzvi materialların çox müxtəlif sintez metodları var və onlardan bəziləri prisipcə digərlərindən fərqlənir və ya eyni qrup metodika ilə alınan materialların hər birinin özünə məxsus spesifikliyi var. Bərk maddələrin alınmasının bir-birindən əsaslı fərqlənən variantları daha çoxdur. Ona görə də onların alınma üsulları və texniki imkanlar daha çox təhlil

ediləcəkdir.Məsələn bərk maddələrin alınmasında ifrat yüksək təzyiqin, güclü lazer şüalarının, elektron bonbardmanının, yüksək tezlikli dalğaların, maqnit sahəsinin təsiri böyükdür.Digər tərəfdən bərk maddələri yüksək temperaturlardan tablamaq, termiki emal vasitəsi ilə defektlərdən təmizləmək və s variantlar tətbiq edilə bilir.

Adətən bərk maddələrin sintezini dörd kateqoriyaya bölürlər: 1) spesifik xassələrini (məsələn, maqnit xassələrini öyrənmək üçün şpinel tipli ferritlərin sintezi) öyrənmək üçün bir sininf birləşmənin sintezi; 2) quruluşca oxşar bərk maddələrin məlum olmayan yeni analoqlarının alınması; 3) Yeni sinif birləşmələrin alınması; 4) əvvəlcədən xassələri nəzərdə tutulan məlum maddələrin alınması.

Qeyri-üzvi materialşünaslıqda maddələrin sintezi, quruluşunun və xassələrinin tədqiqi arasında sıx əlaqənin olması vacib şərtdir. Qeyri-üzvi maddələr yalnız xassələri hər tərəfli öyrənildikdən sonra onun bu və ya digər sahədə material ola biləcəyi aydın olur.

Yeni materialların alınması üçün həmişə yeni sintez metodlarının tətbiq edilməsi vacib deyil. Məlum üsullarla sintez edilmiş maddələrdə də tətbiqi əhəmiyyətli yeni xassələr kəşf etmək mümkündür. Bununla belə materialşünaslıqda sintez üsullarının düzgün seçilməsi, daha mükəmməl texnologiyadan istifadə , bu sahədə elm və texnikanın mühüm nəaliyyətlərinin nəzərə alınması lazımdır. Aşağıda biz son zamanlar materialşünaslıqda, xüsusən bərk maddələrin alınmasında geniş tətbiq edilən üsullardan bir neçəsi haqqında məlumat verəcəyik.

1.1.Keramik sintez metodu.

Sintez prosesi zamanı bütün maddələr bərk halda olarsa dırsa, onda sintez metodu keramik metod adlanır.Keramik sintez metodu əsasən mürəkkəb tərkibli oksidlərin alınmasında tətbiq edilir. Metodun mahiyyəti ilkin oksidlər diqqətlə mexaniki qarışdırılır yüksək temperaturda bişirilir, sonra üyüdülür və yenidən bişirilir. Şixtanın "bişirilməei-üyüdülməsi" tsikli o qədər davam etdirilir ki, bərk fazalı qarşılıqlı təsir başa çatsın. Bəzən başlanğıc oksidlər əvəzinə daha asan tapılan karbonatlardan, nitratiardan və digər duzlardan istifadə edilir. Keramik üsulla yalnız oksidlər deyil, həmçinin sulfidlər fosfidlər də alınır.

Keramik sintez zamanı yüksək temperaturdan istifadə olunur və belə temperaturu almaq üçün çox zaman kameralı mufel sobalarından, tunel tipli sobalardan istifadə olunur. Belə sobalar qızdırıcı naqillər (nixrom, fexral, iridium, volfram və s.), silitlər (SiC, Mo_2Si), təbii yanacaqlarla (qaz,mazut, daş kömür, boz kömür, torf və s.) vasitəsi ilə qızdırılır. Onlarda işçi temperatur 1000÷1700°C intervalında olur. Keramik sintezi daha yüksək temperaturda aparmaq üçün bəzən elektirik qövsündən (~3100÷3200°C), CO_2 lazer şüalarından (4100°C) və s. istifadə edilir.

Keramik sintez prosesi bir-biri ilə toxunan hissəciklərin toxunma sərhəddində başlayır və bərk fazalı diffuziya heesabına davam edir. Bərk fazada elementar hissəciklərin diffuziya sürəti ~10^{-7} sm^2/san^{-1} tərtibində olur və temperatur yüksək olduqca diffuziya sürəti də artır.

Keramik metodun bir-neçə çatışmayan cəhətləri vardır:

- diffuziya mexanizmi ilə getdiyindən bərk fazalı keramik sintezin sürəti kiçik olur;
- Sintez prosesini tənzimləmək mümkün deyil, yalnız eyni sintezi dəfələrlə yoxlamaqla reaksiyanın son qədər getməsini təmin edəcək optimal sintez rejimi seçilir;
- Hətta reaksiya axıra qədər getdikdə belə həmişə tərkibcə homogen məhsul almaq mümkün olmur.

Keramik sintezdə müşahidə edilən çatışmazlıqların əsas səbəblərindən biri başlanğıc maddələrin hissəciklərinin böyük olmasıdır. Sənayedə keramik

sintez üçün şixta müxtəlif dəyirmanlarda, əsasən şarlı dəyirmanlarda üyüdülməklə hazırlanır.Bu zaman hissəciklərin ölçüləri 5-10 mkm həddində olur. Ölçüləri 10 mkm olan hissəciklərin tam qarşılıqlı təsrəgirməsi üçün hissəciklər ~ 10000 elementar qəfəs (elementar qəfəsin ölçüsü ~1nm gəbul edilsə) qədər məsafəni diffuziya etməlidir.Bunun üçün tələb olunan vaxt τ=10mkm/10^{-7} sm^2/san^{-1}=10×10^{-4} sm×san/10^{-7} sm^2=10×10^3 san~2,78 saat kimi hesablana bilər. Lakin praktikada bundan on dəfələrlə çox vaxt tələb olunur. Bunun səbəbi əmələ gələn aralıq təbəqə-məhsulda diffuziya sürətinin daha da az olmasıdır. Yuxarıda göstərilən çatışmazlıqlar hesabına məhsul kimyəvi qeyri-bircinsliliklə yanaşı, həm də ölçücə qeyri-bircins olur.Bu isə keramik materialda anizotropluğu çoxaldır və nəticədə onun elektirik, maqnit xassələrinin təkrarlanması çətinləşir.

Bu çatışmayan cəhətlərinə baxmayaraq, həm sənayedə, həm də elmi-tədqiqat məqsədi ilə bir çox keramik məmulatların: ferritlərin, varistor və rezistorların alınmasında keramik sintez metodu geniş istifadə olunur. Lakin daha dəqiq tərkibli, homogen keramik material almaq üçün onun şixtası mexaniki əzmə ilə deyil, müxtəlif kimyəvi və fiziki-kimyəvi üsullar tətbiq etməklə hazırlanır. Bu üsulların mahiyyəti ilkin oksidlərin daha kiçik ölçülü və səthi aktiv formada hazırlanmasıdır.Təzə hazırlanmış belə tozvari maddələrin reaksiyaya girmə aktivliyi daha yüksək olur.Aşağıda ilkin şixtanın hazırlanması ilə bağlı bir neçə üsul şərh edilir:

1.1.1.Kimyəvi çökdürmə üsulu.

Üsulun mahiyyəti məhluldan keramik materialın sintez ediləyici şixtanın komponentlrini həll olmayan duzlar şəklində birgə çökdürməkdir.Bu üsul müxtəlif keramik materialların alınması üçün geniş yayılmışdır. Burada birgə çökdürmə elə bir şəraitdə aparılır ki, alınan şixtada kationların nisbəti stexiometrik tərkibə müvafiq olsun. Praktikada bunu dəqiq yerinə yetirmək elə də asan deyil. Belə ki, müxtəlif kationların eyni bir çökdürücü ilə eyni şəraitdə eyni sürətlə çökməsi praktiki olaraq mümkün deyil.

Bu baxımdan çökdürücü kimi oksalatlardan və karbonatlardan istifadə etdikdə reallığa daha yaxın nəticə alınır.kationların çöküntülərinin həll olma

hasillərini nəzərə alaraq ilkin nitrat və ya asetat məhlullarında müvafiq korrektirovka edilir.

Beləliklə oksalatlarla çökdürərkən ilkin məhlul metalların hesablanmış miqdar nitrat və asetat məhlulu, çökdürücü isə oksalat turşusu+ammonyak, oksalat turşusu+trietilamin qarışıqlarından istifadə edilir.Hər bir konkret hal üçün pH-ın qiyməti (mühitin turşuluğu seçilir) seçilir.Bəzən elementlərin çətin həll olan duzlarının çökmə şəraitləri çox müxtəlif olur.Məsələn kalsium və bismutun oksalatlarının həll olması və çökmə pH-ları çox fərqlidir və onların oksalat duzları şəklində birgə çökdürülməsi çətinləşir.Belə olduqda başqa çökdürücülərdən istifadə etmək lazım gəlir.

Karbonat üsulu ilə çökdürmə prosesində ya ammonium bikarbonatın, ya paltar sodasından (bəzən potaşdan), ya da ammonium tetrametil duzunun izafi miqdarından istifadə edilir.Çökdürmə pH>8 mihitində aparılır. Çökdürmə soda və ya potaşla aparılarsa çöküntü çox diqqətlə yuyulmalıdır. Əks təqdirdə natrium (kalium) keramikanın tərkibinə keçə bilər və bu onun xassələrini kəskin dəyişdirə bilər.

1.1.2. Zol-gel üsulu

Bu üsulun mahiyyəti elə özülü mühit yaratmaqdır ki, yeni sintez edilən başlanğıc oksidlər və ya digər subsratlarböyüyə bilməsin, koaqulyasiya edə bilməsin. Özülü mühit müxtəlif cür yaradıla bilər. Birinci variantda mühit reaksiyada iştirak etməyən kalloid əmələ gətirici maddələr (aqar-aqar məhlulu, nişasta, maye şüşə və s.) hesabına yaradılır. Reaksiyaya girəcək maddələrin duz məhlulları ayrı-ayrılıqda bu kalloidlərdə həll edilir və conra hesablanmış miqdarları bir-biri ilə qarışdırılır. Məsələn, Na2S kalloid məhlulu ilə CdCl2-nin kalloid məhlullarını bir-biri ilə qarışdırsaq CdS-in nanoölçülü hissəciklərini almaq olar.

İkinci variantda kalloid mühir reaksiya prosesində yaranır. Məsələn, bir çox metalların xelat kompleksləri (məsələn, oksalatları) 100-140°C qızdırıldıqda çox atomlu spirtlərlə aşağı molekul çəkili oliqomerlər əmələ gətirir.Axırıncı birləşməni qızdırdıqda özülü qətranvari maye (gel) əmələ

gəlir.Bu gel parçalandıqda çox narın oksid alınır. Əgər gelin tərkibində bir neçə metal olarsa, onda çox narın dispers paylanmış oksidlər qarışığı alınır.Belə oksidlərdən şixta kimi istifadə etdikdə bircins keramikanın alınması asanlaşır.

Başqa bir variantda metal üzvi birləşmənin kalloid məhlulu hazırlanır və o polikondensasiyaya uğradılır. Bu zaman üzvi radikal böyüyür və metal ionlarının həcmdə bərabər paylanmasına şərait yaranır.Əmələ gələn fəza quruluşlu geli ekstraksiya etdikdə aerogel, qurutduqda isə kserogel alınır
Alınmış aerogel və kserogeldə metal oksidləri molekulyar səviyyədə bərabər paylanmış olur. Onları qızdırdıqda daha aşağı temperaturda bişir və bircins keramika əmələ gətirir.

1.1.3. İsti səthə püskürtməklə qurutma üsulu.

Keramik materialların sintezində yüksək dispersliyə malik şixtanın hazırmasıda isti səthə püskürtmə üsulu geniş istifadə edilir. Üsulun mahiyyəti belədir:əvvəlcə tələb olunan stexiometriyada metal duzlarının bircins məhlulu hazırlanır.ona ultrasəslə təsir etməklə ölçüləri 0,5-0,8 mkm ölçüdə aerozollar hazırlanır.Sonra həmin aerozol qaz daşıyıcılarının köməyi ilə temperaturu 500°C-dən çox olan isti kameranın səthinə çilənir. Bu zaman həlledici ani olaraq uçaraq ayrılır, şixta tam və ya natamam şəkildə oksidlərə parçalanır.Əmələ gələn oksid-duz bərk qarışığında hissəciklər atomar səviyyədə qarışmış olur. Belə hazırlanmış şixta keramik sintezə uğradılır.Yəni hissəcillərin tam parçalanması və qarşılıqlı təsirə məruz qalmaları üçün onlar birlikdə termiki emala uğradılır.Bu üsulun üstünlüyü keramik maddənin bişirilməsinin bir mərhələdə daha homogen bişirilməsinə imkan verməsidir. Burada tam bişməmiş keramik məhsulun təkrar əzilməsinə, təkrar bişirilməsinə ehtiyac qalmır. Bir dəfəyə daha kiçik ölçülü zərrəciklərə malik homogen keramik material alınmaq mümkün olur.

Üsulun catışmazlığı da var. Belə ki, kameranın səthi yüksək temperaturda aqressiv(bəzən sərbəst mineral turşu qarışığı olan) kimyəvi məhlulların təsirindən aşılana və bu zaman hazırlanan şixtanın tərkibinə isti səthin materialı da qarışa bilər; bundan başqa sobanın daxili atmosferi və

daşıyıcı qaz qarışığı CO2 –dən diqqətlə təmizlənməlidir.s təqdirdə karbonatlar əmələ gələ bilər və qarışmanın atomar səviyyədə olması mümkün olmaz.
Bu üsulda ilkin məhlul hazırlanarkən ən çox nitrat duzlarından istifadə edilir.

2.2.5. Kriokimyəvi üsul (məhlulun çilənməklə dondurulması üsulu)

Daha təmiz və molekulyar səviyyədə qarışmış şixta almaq üçün kriokimyəvi üsuldan geniş istifadə edilir. Üsulun mahiyyəti belədir: Stexiometrik tərkibdə metal duzlarının (əsasən nitratların) məhlulları hazırlanır və onlar çox soyuq səthə nazik təbəqə şəklində üfürülərək çilənir. Bu zaman məhlulun çox kiçik hissəcikləri krioqrnullar kimi bərkiyir (donur). Əmələ gələn bərk hissəciklərdən həlledici aşağı temperaturlu sublimasiya etdirilməklə ayrılır. Alınan yüksək dispersliyə malik quru duz qarışığı malekulyar səviyyədə qarışmış olur. Soyuducu səth maye heksan və ya maye azot istifadə edilir.

Düzgün qurudulmuş duzların ölçüləri 10 nm tərtibində olur ki, belə şixtanın da keramik sintezi yüksək homogenlikli materialın alınmasına səbəb olur.

Kimyəvi üsullar

Keramik sintezin çatışmazlıqlarını aradan qaldırmaq üçün bərk fazalı sintezdə alternativ variantlardan istifadə edilir. Bu üsulların tətbiqi məlum birləşmələri daha homogen və təmiz almaqla yanaşı yeni birləşmələrin alınmasına da imkan verir. Bu alternativ metodların içində üçü daha daha çox seçilir: bərkfazalı sələf metodu, redooksi topokimyəvi və iondəyişmə topokimyəvi reaksiyalar. Hər üç üsulun əsas fərqləndirici cəhəti sintezin aşağı t-da aparılması, məhsulun yüksək xüsusi səthə malik narın xırdalanmış halda alınmasıdır. Məhsulun yüksək dispersliyə malik olması kataliz prosesləri üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Reaksiyanın keramik sintez t-na nisbətən çox aşağıda baç verməsi ilkin maddələrin quruluşunun minimal

pozulmasına (topokimyəvi reaksiya) səbəb olur. Topokimyəvi üsulla alınan fazalar çox zaman metastabil olurlar və onları başqa üsullarla almaq mümkün olmur.

Topokimyəvi üsulda reagentlər atomar səviyyədə bir-biri ilə qarışır. Məlumdur ki, keramik metodda bu mümkün deyil.

Bərk sələfi üsuldan istifadə etdikdə lazimi stexiometriyaya malik, homogen birləşmələr almaq mümkündur. Bərk sələfi üsul mürəkkəb tərkibli oksidlərin alınmasına imkan verir. Məsələn, şpinel tipli ferritləri MFe_2O_4 (M-Mg; Mn; Co; Ni) ümumi formulu $M_3Fe_6(CH_3COO)_{17}O_3OH{\cdot}12C_5H_5N$ olan metal asetatlarını termiki parçalanmasından almaq olur. M/Fe nisbəti müxtəlif olan sələfi maddələri kompleks birləşmələr şəklində və çox təmiz halda almaq mümkündür. MCr_2O_4 xromit birləşmələrinin alınması üçün sələfi maddə kimi ammonium bixromatları $(NH_4)_2M(CrO_4)_2{\cdot}6H_2O$; $BaTiO_3$ и $LiCrO_2$ formulalı birləşmələri almaq üçün $Ba[TiO(CrO_4)_2]$ и $Li[Cr(CrO_4)_2(H_2O)_2]$ kimi bərk sələfi maddələrin termiki parçalanmasından istifadə etmək olar.

Sintez ediləcək maddədə stesiometriyanı təmin etmək üçün bəzən individual sələfi birləşmədən deyil bərk məhlullardan istifadə edilir. Məsələn, Ca1-xMnxO dəyişən tərkibli oksidləri almaq üçün CaCO3-MnCO3 sisteminin bərk məhlullarından istifadə etmək olar.

Sələfi maddə kimi bərk məhluldan istifadənin aşağıdakı üstunlukləri var:

-reaksiyaya girəcək kationlar bircins paylanır və bunun nəticəsində son məhsulun bircins olması təmin edilir;

- məhsul keramik sintezə nisbətən daha aşağı temperaturlarda baş verir.

Sələf üsulu ilə ərimə temperaturu çox yüksək olan Mo-W xəlitəsini sələfi maddə $(NH_4)_6[Mo_{7-x}W_xO_{24}]$ bərk məhlulunun çox aşağı temperaturda (~ 500C) hidrogenlə reduksiyası ilə almaq mümkündür

Qaz fazasında parçalama üsulu. Bə'zi qazvari maddələri nisbətən aşağı temperaturda parçaladıqda bərk maddələr alınır.Məsələn, CH_3SiH_3 və ya $(CH_3)_2SiCl_2$ parçalanmasından mühüm texniki əhəmiyyətə malik silisium karbid- SiC alınır.Təmiz Si_3N_4 fazası $SiCl_4$ (və ya SiH_4) və NH_3 birləşmələrinin qarşılıqlı təsirindən, keçid metallarının sulfidləri metal oksidlərinin,sulfatlarının və ya xloridlərinin H_2S və ya CS_2 ilə sulfidləşdirilməsi nəticəsində əmələ gəlir:

$$CH_3SiH_3 \xrightarrow{t} SiC + 3H2$$

$$3SiCl_4+4NH_3= Si_3N_4 +12HCl$$

$$MoO_2+ H_2S=MoS_2+2H_2O$$

Burada CH_3SiH_3,$3SiCl_4$ qazvari sələfi maddələr hesab edilir.

İnterkalyasiya üsulu. Bir çox keçid metalların dioksidləri və xalkogenidləri layvari quruluşa malikdirlər. Onların layları arasında kimyəvi əlaqə zəif ban-der-vaals qüvvələrindən ibarət olur. Litium və ya digər qələvi metallar bu birləşmələrin laylararası boşluqlarına interkalyasiya (daxil) ola bilir. Bu zaman qismən reduksiya olunmuş A_xMX_n (A- Li, K, Na) fazalar alınır.Bu fazalarda qələvi metal ionları yüksək mütəhərrikliyə malik olur və onlar ion keçiriciləri kimi batareyalarda katod kimi istifadə edilir. İnterkalyasiya reaksiyalarının aşağıdakı xüsusiyyətləri var:

- interkaliyasiya prosesi dönərdir və kimyəvi və ya elektrokimyəvi yolla həyata keçirilə bilər;
-təbiətinə görə reaksiya topokimyəvi reaksiyadır və reaksiya nəticəsində ilkin maddənin quruluşu çox cüzi dəyişir;
-əsas maddəyə A_xMX_n daxil edilmiş həm A kationu, həm də elektronlar yüksək mütəhərrikliyə malik olurlar.Nəticədə A_xMX_n tərkibli interkalyant ion-elektron keçiriciliyinə malik olur.

İnterkalyasiya prosesini iki üsulla həyata keçirmək olur:kimyəvi və elektrokimyəvi.

Məsələn, təbəqəvari quruluşa malik TiS_2 birləşməsinə litiumun kimyəvi üsulla interkalyasiyasl aşağıdakı reaksiya ilə həyata keçirilə bilir:

$$x\text{-}C_4H_9\,Li + TiS_2 = Li_xTiS_2 + x/2\,C_8H_{18}$$

Burada litium butilatın heksaanda məhluluna TiS_2 kristalları salınır.

Elektrokimyəvi üsulda TiS_2 birləşməsi elektrokimyəvi reduksiya edilir Elektrolit məhlulu kimi litum xlorat LiClO4 duzu polyar üzvi həlledicidə həll edilir. Anod kimi LiAl ərintisindən hazırlanmış lövhədən istifadə edilir.

Topokimyəvi ion mübadilə reaksiyalarına aşağıdakıları misal göstərmək olar:

α-$NaCrO_2$+ $LiNO_3$ α-$LiCrO_2$ +Na NO_3

$KAlO_2$ +Ag NO_3 β-$AgAlO_2$ + K NO_3

α-$LiFeO_2$ +CuCl $\rightarrow$ β-$CuFeO_2$ + LiCl

Göstərilən reaksiyalar nisbətən aşağı temperaturda baş verir və bu zaman metastabil fazalar alınır. Nisbətən yuxarı tem-da birləşmələrin quruluşu dəyişir və onlar stabil hala keçirlər.

Интеркалированные соединения (интеркалаты, интеркаляты) используются в качестве катализаторов, твердых электролитов, анодных и катодных материалов в первичных и вторичных источниках тока, твердых смазок, селективных сорбентов при разделении и очистке веществ. Интеркалаты, образовавшиеся путем внедрения H2 в кристаллические решетки интерметаллидов, например TiFe, LaNi5, Mg2Ni, содержат слабосвязанные с металлической матрицей атомы водорода и могут быть использованы в качестве катализаторов гидрирования и аккумуляторов водорода. Процессы интеркаляции-деинтеркаляции ионов лития лежат в основе функционирования электродов литий-ионных аккумуляторов.

В биологии и медицине под интеркаляцией чаще всего понимают встраивание различных лигандов в молекулу ДНК. Этот процесс представляет большой практический интерес, так как позволяет, в частности, заблокировать репликацию и транскрипцию ДНК в быстрорастущих раковых клетках, что является одним из основных механизмов действия эффективного противоракового препарата доксорубицина.