

M Ü H A Z İ R Ə – 11

FOTON KRİSTALLARI – optik ifrat qəfəsidir.

Foton kristalının alınma mexanizmləri.

Foton kristallarının tətbiq sahələri.

Foton kristalları (photonic crystal) termini fizikaya XX əsrin 80-ci illərində daxil olub. **Elektromağnit dalğalarının sınıma əmsalı periodik dəyişən optik ifrat qəfəslərə foton kristalları deyilir.**

İFRAT QƏFƏS nədir? İfrat qəfəs (crystal superlattice) periodik təkrarlanan oblastlara malik bərk cisimdir. İfrat qəfəsdə cismin hər hansı bir xassəsini (məsələn, maqnit, elektrik, elastiklik və s.) xarakterizə edən fiziki göstərici oblastdan-oblasta sabit qalmayıb, müxtəlif qiymətlər alır. Bu halda hər bir oblastın ölçüləri və oblastlar arasındakı məsafə atomlar arasındakı məsafədən bir neçə dəfə çox olur.

Bir istiqamət üzrə periodik olaraq dəyişən ifrat qəfəs, məsələn, laylı quruluşlar birölçülü (**1D, ingiliscə dimension – ölçü deməkdir**) ifrat qəfəs adlanır. Onlarda bir-birini əvəz edən layların maqnit xassələri fərqli olur.

İkiölçülü (**2D**) ifrat qəfəslərə kvant çuxurlarını misal göstərmək olar. Bu quruluşlarda 2 istiqamət üzrə elektrik xassələri müxtəlif qiymətlərlə xarakterizə olunur.

Üçölçülü (**3D**) ifrat qəfəslərdə isə eyni ölçülərə malik periodik olaraq təkrarlanan oblastların bütün fiziki xassələri müxtəlif olur.

İlk süni ifrat qəfəs 1989-cu ildə E.Yablonoviç tərəfindən yaradılmışdır. Bu, sınıma əmsalı $n=3,6$ olan dielektrikdən ibarət mildir və onun üzərində hər 1 mm məsafədə müəyyən bucaq altında 1 mm diametrlilik kanallar “açılmışdır”. Kanalların bir-birini örtməsi nəticəsində periodik təkrarlanan hissələr yaranır. Bu klassik obyekt ilk foton kristalı idi və onu “yablonoviç” adlandırmışlar.

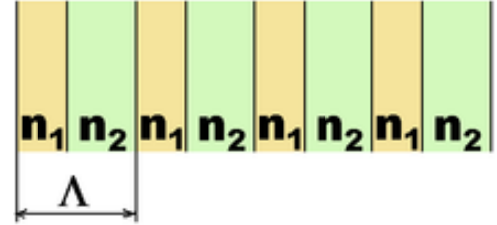
Foton kristallarına təbiətdə az rast gəlinir. Bunlara misal olaraq kalsit, labrador, opal kimi mineralları – qiymətli daşları göstərmək olar. Bu kristallarda sındırma əmsalı periodik dəyişdiyi üçün, düşən işıq göy qurşağı kimi müxtəlif rəng çalarlarına malik olur. Məhz bu hadisə qədimdən insanları özünə cəlb etmiş və onlar bunu mistika ilə əlaqələndirmişlər. Sonradan bu optik hadisə irizasiya (yunanca tərcümədə göy qurşağı deməkdir) adlandırıldı. Təbiətdə bir çox heyvanlar, xüsusilə də, isti ölkələrdə yaşayan bir çox kəpənəklərin qanadları da ifrat qəfəs quruluşuna malikdirlər. Lakin bu quruluşlardan texnikada istifadə edilməsi zərurəti, yalnız nanotexnologiyalar inkişaf etdikdən sonra, yarandı. Çünki foton kristalları yaratmaq üçün mütləq surətdə yüksək texnologiya, dəqiq aparılmış eksperiment və düzgün qoyulmuş nəzəriyyənin mövcud olması labüddür.

Müəyyən olunub ki, foton kristallarını əmələ gətirən obyektlər arasındakı məsafə əsas mühitin atomları arasındakı məsafədən çox olur (optik diapazon üçün ~ 1000 dəfə).

Foton kristalları da bütün nanoquruluşlar kimi, kristal (atom) qəfəsdə periodik olaraq təkrarlanan quruluşlarda mövcud olan boşluqları (oblastları) doldurmaq xüsusiyyətinə malikdir. Məhz bu baxımdan da nanoquruluşlar arasında foton kristalları xüsusi yer tutur.

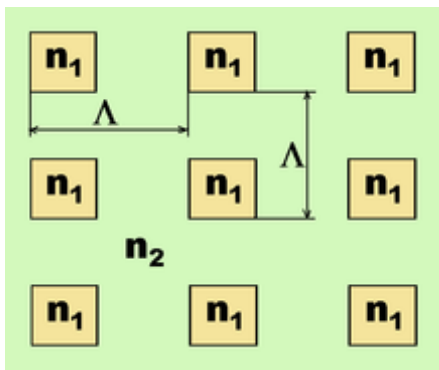
Foton kristalları optik ifrat qəfəs olduqları üçün, onlar da **birölçülü (1D)**, **ikiölçülü (2D)** və **üçölçülü (3D)** ola bilərlər.

Birölçülü foton kristallarında sındırma əmsalı şəkilə göstəriləyi kimi bir istiqamət üzrə periodik təkrarlanır. Burada Λ işarəsi təkrarlanma periodunu, n_1 , n_2 isə 2 müxtəlif materialın sındırma əmsallarıdır. Birölçülü foton kristalları 2 deyil, bir neçə materiallardan da ibarət ola bilərlər. Bu halda da materialların sındırma əmsalları fərqli olmalıdır və onlar periodik olaraq təkrarlanmalıdırlar. Şəkildən görüldüyü kimi, birölçülü foton kristalları materialların bir-birinə paralel yerləşməsi nəticəsində yaranmışlar və onların xassələri həmin laylara perpendikulyar istiqamətdə özünü biruzə verir.



Difraksiya qəfəsi birölçülü foton kristalına misal göstərilə bilər.

İkiölçülü və üçölçülü foton kristallarında isə, uyğun olaraq 2 və 3 istiqamət üzrə təkrarlanan oblastlar olur. Tədqiqatlar nəticəsində məlum olub ki, ikiölçülü və üçölçülü foton kristallarında şüanın yayılması işığın interferensiya maksimumu şərti ilə müəyyən edilir və onun qiyməti dalğa vektoru istiqaməti ilə difraksiya qəfəsi oxları arasındakı bucaqdan birbaşa asılıdır.



ikiölçülü foton kristalının sxematik təsviri

Qeyd etmək lazımdır ki, istifadə edilən elektromaqnit dalğalarının tezliyi nə qədər yüksək (dalğa uzunluğu isə kiçik) olsa, o qədər də geniş qadağan olunmuş zonaya malik üçölçülü foton kristalı yaratmaq çətin olur. Bu çətinlik isə, əsasən, “tam” qadağan olunmuş zona almağın qeyri-mümkünlüyü ilə bağlıdır. Çünki bəzi istiqamətlər üzrə elektromaqnit dalğaları yayıla bilər. Lazım olan effekti əldə etmək üçün foton kristallarının təşkil olunduğu periodik oblastların n_1 və n_2 sındırma əmsallarını, ölçü və formalarını, fəzada həndəsi yerləşməsini dəyişmək məcburiyyəti yaranır.

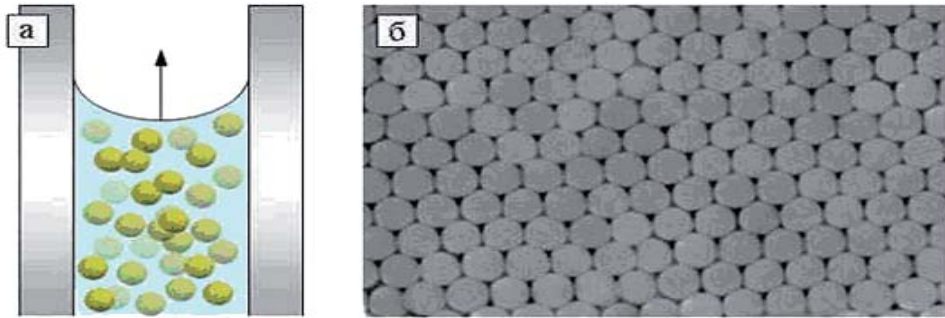
Qadağan olunmuş zonanın ölçülərindən asılı olaraq, foton kristalları keçirici, izolyator, yarımkeçirici və ifratkeçiricilərə bölünür.

Görünən dalğa diapazonunda, və həmçinin, infraqırmızı və ultrabənövşəyi oblastlarda ($\lambda=1,5$ mkm dalğa uzunluqlu infraqırmızı oblastdan telekommunikasiya texnikasında geniş istifadə olunur) ifrat qəfəs yaratmaq ən böyük texniki maraq dairəsinə daxildir. Bunun üçün ifrat qəfəsin periodik oblastları mikron tərtibində olmalı və bir-birindən eyni məsafədə yerləşməlidir. Məhz bu texnologiya texniki cəhətcə çox çətindir. Çünki bu halda oblastların sındırma əmsalları arasındakı fərq də böyük olmalıdır.

Bir çox tədqiqatçılar foton kristalları üçün model kimi opal klasterinin ifrat qəfəsindən istifadə edirlər. Onun periodik “qəfəsi” atomlarla müqayisədə çox iri olan SiO_2 klasterlərindən ibarətdir.

Opalın tərkibində, digər minerallardan fərqli olaraq, daha çox su olur (~40%). Müəyyən vaxtdan sonra bu qiymətli daş suyunu itirdiyi üçün şəffaflığını da itirir. Opalın bəzi növləri yenidən suya salındıqda, boşluqlar su ilə dolduğu üçün, yenidən şəffaflaşmaq qabiliyyətinə malikdirlər. Məhz buna görə (yəni nanoquruluşlar kimi öz boşluğunu doldura bildiyi üçün) onun ifrat qəfəsi süni foton kristalları üçün model kimi təklif olunur.

Hal-hazırda foton kristalları yaratmaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilir ki, bunlardan biri də sferik mikrozərrəcik sistemlərinin bir sıra qablanma (yəni spontan, özbaşına kiçik həcmə yığılmaq qabiliyyətinə malik) üsullardır. Əvvəlcə kvars, və ya polimer mikrosferalarında müəyyən məsafələrdə süni kanallar açılaraq, mayeyə batırılır. Sonra mikrosferalar mayedən çıxarılaraq, buxarlandırılır. Daha sonra onların səthi skanedici elektron mikroskopu ilə tədqiq edilir. Alınan görüntülər həqiqətən nizamlı quruluşun yarandığını əyani şəkildə sübut edir.



Bu üsul, nanotexnoloji proseslərdə istifadə edilən “aşağıdan-yuxarıya” yanaşmasına gözəl misaldır.

Foton kristallarının digər alınma üsulları mikroelektronikada geniş istifadə edilən litoqrafiya üsulu ilə yerinə yetirilir və “yuxarıdan-aşağıya” prosesinə əsaslanır. Bunun üçün bir neçə variant irəli sürülür:

1. Bir halda üçölçülü qoloqrafiya üsulu ilə polimerdən ibarət fotorezisterdə gələcək foton kristalının üçölçülü təsviri yaradılır, sonra aşındırma yolu ilə intensiv şüalandığı hissədən başqa (o hissədə polimer həllolunmaz formaya keçdiyi üçün) digər bütün hissələrdən polimer çıxarılır.
2. Digər variantda isə silisium zonalarından (zolaqlarından) divar kimi yığılmış “odun qalağı” formalı foton kristalı yaradılır.

Foton kristallarının tətbiq sahələri. Foton kristallarının əsas tətbiq sahəsi ondan işıq ötürücüsü kimi istifadə edilməsidir.

Ənənəvi işıq ötürücülərinin iş prinsipi işığın daxildən tam şəkildə əks olunmasına əsaslanır. Bildiyimiz kimi, bu cür işıq ötürücüsünün daxili hissəsi üst qatlarla müqayisədə daha böyük sındırma əmsalına malik olur.

Lakin foton kristallarından işıq ötürücüsü kimi istifadə edildikdə, orada enerjinin ötürülmə mexanizmi adi işıq ötürücülərindən tamamilə fərqli olur. Belə ki, foton kristallarında mövcud olan qadağan olunmuş zona hesabına, işıq dalğaları işıq ötürücüsünün (yəni foton kristalının) üst laylarında yayıla bilmir.

Enerjinin bu cür ötürülmə mexanizmi işıq ötürücüsünün müxtəlif bucaqlar altında əyilməsi zamanı da heç bir itkiyə məruz qalmır. Lakin adi işıq ötürücülərində, hətta düz bucaq altında əyilmə, tam daxili əksolma şərtlərinin pozulması hesabına enerji itkisinə gətirib çıxarır (səbəb olur).

Klassik işıq ötürücülərinin 90°-lik bucaq altında əyilməsi üçün əyrilik radiusunun 10 dalğa uzunluğu tərtibində olması vacibdir. Foton kristalı əsaslı işıq ötürücüsü üçün bu göstərici yarım dalğa tərtibindədir. Məhz bu faktor mikroelektronika üçün böyük rol oynayır. Çünki mikrosxemlərdə işıq ötürücülərini kiçik həcmə yerləşdirmək (qablamaq) üçün onun çoxsaylı burulması zərurəti ortaya çıxır. Foton kristal əsaslı işıq ötürücüləri müxtəlif sensorların əsas elementi ola bilər. Bu işıq ötürücülərinin optik xarakteristikaları mexaniki, istilik və digər qarşılıqlı təsirlər nəticəsində dəyişə bilər.

Foton kristallarının digər tətbiq sahəsi seçilmiş bucaq və istiqamət üzrə müəyyən işıq dalğalarını əks etdirən güzgülərin hazırlanmasından ibarətdir. Belə üçölçülü güzgülər ilk dəfə 1994-cü ildə amerikalı, daha sonra isə hollandiyada yaradılmışdır. Bu güzgülərin əsası silisium laylarının xüsusi sürətdə yığılmasından ibarətdir.

Bundan başqa, müəyyən olunub ki, foton kristalları mayekristallıq displeylərdə yüksək rəngötürücülüynə malikdirlər. Alimlər bu metodikadan elektron kağızlarda da istifadə edərək, kağız kimi əyilən və bütün rəngləri aydın şəkildə verə bilən displeylər yaratmışlar.

Foton kristallarının daha bir tətbiq sahəsi işığın göy qurşağı kimi bütün çalarlarını əks etdirən qiymətli, və ya süni daşların yaradılmasından ibarətdir. Fotolitoqrafiya üsulundan istifadə etməklə, hətta almazın da üzərinə 200-ə yaxın yumru, üçbucaq və altıbucaqlı fiqurları “yeritməklə”, onun parıltısını – işıq saçmaq qabiliyyətini qat-qat artırmaq mümkündür. Bu üsulla alınan daşlar qiymətli və ya süni olmasından asılı olmayaraq, çox baha olacaqlar.

Bu deyilənlərdən aydın olur ki, foton kristallarının qeyri-adi xassələri gələcəkdə yeni texnologiyaların kəşfinə, və bunlar əsasında məişətdə istifadə ediləcək bir çox əşyaların yaranmasına təkan verəcək.