

UOT 520.2

AZAD MƏMMƏDLİ

ASTRONOMİYADA OPTİK ŞÜALANMA QƏBULEDİCİLƏRİ

Məqalədə müasir şüalanma qəbuledicilərinə və astronomik obyektlərin təsvirlərinin qeyd edilməsi əsasında baxılmış və analiz olunmuşdur. Belə qəbuledicilərin mühüm xarakteristikası kvant kaməyətədir. Texnologiyanın sonrakı inkişafı daha həssas cihazlar yaratmağa imkan verdi. Xüsusilə matris qəbuledicilər geniş yayıldı. Submikron litografik proseslərin ortaya çıxması və əks işıqlanma texnologiyalarının tətbiqi yeni model genişformatlı matrislər yaratmağa imkan verdi. Belə matrislər yüksək kvant effektivliyinə malikdir və kosmik aparatlarda istifadə olunurlar.

Açar sözlər: teleskoplar, YƏC, fotoelektron qurğular, matris qəbuledicilər, kvant effektivliyi.

İlk teleskoplar yalnız vizual müşahidələr üçün istifadə oluna bilərdi. Müşahidəçi gözü yeganə şüalanma qəbuledicisi idi. Buna baxmayaraq, kosmosun obyektlerini böyük bucaq ayrıltdəməsi ilə görmək imkanı, müşahidə olunan obyektin parlaqlığını qonşu obyektlərlə vizual müqayisə etmək, bucaq ölçmələri aparmaq və rəsmlər çəkmək Kainatın öyrənilməsinə əhəmiyyətli dərəcədə irəliləməyə imkan verdi. Ulduzların parlaqlığını vizual qiymətləndirmək üçün ulduz ölçüsünü onda birə qədər dəqiqliklə qiymətləndirməyə imkan verən xüsusi metodikalar işlənilib hazırlandı. Astronomiyanın ayrı-ayrı sahələrində vizual müşahidələr XX əsrin ikinci yarısında populyar olaraq qalırdı.

XIX əsrin ikinci yarısında təsviri fiksə etmək üçün fotoqrafik emulsiya tətbiq olunmaqla astronomiyada yeni mərhələ başlandı, sonralar istər fotolövhdən, istərsə də elastik plyonka üzünə çəkilmiş emulsiyadan istifadə olundu. Aydınlaşmadan sonra kaməyətəçə ölcülə bilən təsvirin fiksə olunması, obyektlərdən gələn işıq saatlarla toplamağa imkan verirdi, bəzən də ekspozisiya dalbadal bir neçə gecə uzana bilirdi. Fotomaterialın kifayət qədər böyük ölçülü bircins işıqəhəssas təbəqədən hazırlamaq olar ki, bu da bir ekspozisiya müddətində olduqca böyük sahənin təsvirini almağa imkan verdi. Aydınlaşmadan sonra, öyrənilən obyektin parlılığını və onun qonşu ulduzlara nəzərən dəyişməsinə qiymətləndirmək, obyektin vəziyyətini və böyüklüyünü təyin etmək üçün fotomaterialı xüsusi cihazlarda ölçülürdü. Qeyd etmək lazımdır ki, fotoplyonkanın kvant effektivliyi, yəni təsvirin əmələ gəlməsində iştirak edən fotonların faiz ölçüsü kiçik olurdu və 3-5% həddini aşmırdı. Astronomlar hipersensibilizasiya adlanan xüsusi metodların köməyi ilə bilavasitə müşahidədən əvvəl fotomaterialı qızdırmaqla yaxud xüsusi məhlullarla yumaqla onun işıqəhəssaslığını yüksəltməyə nail olurdular. Daha aktiv sensibilizasiya metodları fotomaterialı hidrogenli atmosferdə saxlamaq yolu ilə P.K.Şternberq adına Dövlət Astronomiya İnstitutunda işlənilib hazırlandı. Lakin, bu halda da kvant effektivliyi 7-9%-i aşmadı. İlk fotomaterialların gümsünün haloidləşdirilməsi əsasında maksimum həssaslığı spektrin mavi və yaxın ultrabənövşəyi hissəsinə düşür, uzundalğalı diapazonda həssaslığın sərhəddi faktiki olaraq 500 nm ilə məhdudlaşdı. Sonralar uzundalğalı oblastda təsvirləri almaq üçün fotoemulsiyaya yaxın infraqırmızı diapazonadək fotomaterialları sensibilizasiya edən müxtəlif maddələr əlavə edilirdi.

Fotoeffekt əsasında hazırlanmış elektron qurğuların inkişaf etdikcə, astronomiyada obyektlərin parlılığını dəqiq ölçmək üçün fotoelektron çoxaldıcılar (FEC) tətbiq olunmağa başlandı. FEC, bir qayda olaraq, təsviri almağa imkan vermir, elektron selinin yaratdığı impulsları saymaq yolu ilə fotonların zəif axınına ölçmək üçün tətbiq olunur.

FEC-in kvant effektivliyi də yaxın zamanlardakı o qədər də böyük deyildi və 10-12% həddini aşmırdı, hazırda FEC-in bəzi modellərində bu kaməyətə 45%-ə çatır, lakin fotokatod üzünə çəkilmiş örtükdən asılı olaraq, spektral həssaslıq spektrin olduqca geniş diapazonunda dəyişə bilər. FEC-in böyük üstünlüyü nəticəsində müşahidəni yüksək zaman ayrıltdəciliyi ilə (0,1 nanosaniyəyə qədər) aparmaq mümkün oldu. Hazırda FEC, onun bir çox qüsurlarından azad olan və kvant effektivliyi 80%-ə qədər çatan fotonları saymaq üçün bircinsli qurğulara – silisium fotodioldar əsasında işləyən sınıtblıqlarla əvəz olunmuşdur.

1969-cu ildə yük əlaqəli cihazın (YƏC, ingiliscə abreviaturası – CCD) icad olunması ilə astronomiyada əsl inqilab baş verdi. YƏC – bu, bir qayda olaraq, yanmkeçirici silisium üzünə düzəldilmiş matris yaxud xətkeşdir. Təsvirin hər bir elementi olan piksel fotoeffekt nəticəsində yaranan sərbəst elektronları öz sərhədində tutub saxlamaq və onları qonşu piksellərə yerdəyişməsinə imkan verməyən elektrodlar sisteminin köməyi ilə lövhənin səthində lokallaşır. Beləliklə, YƏC səthinə düşən fotonlar piksel çərçivəsində toplanan elektronları əmələ gətirirlər. Ekspozisiyanın sona çatması ilə hər bir pikseldə toplanmış yük qonşuluqdakı sayma registrinə və silisium lövhə üzərində yerləşən ilkin gücləndiriciyə doğru yerini dəyişir, gücləndirilmiş signal analoq-rəqəmsal çeviriciyə (ARÇ) ötürülür və ölçmənin nəticələri bilavasitə kompüterə daxil olur.

İndi artıq müşahidəçi öz işinin nəticəsini praktik olaraq ekspozisiya başa çatdıqdan sonra anıncada görə bilər. YƏC-in kvant effektivliyi əvvəllər istifadə olunmuş qəbuledicilərdən xeyli dərəcədə yüksəkdir və ilk YƏC-lər üçün onlarla faiz təşkil edirdisə, hazırda 450-800 nm dalğa uzunluqlu geniş diapazon üçün 90-95%-ə çatır. 1980-ci illərdə YƏC, yerüstü və kosmik astronomik cihazlarda geniş istifadə olunmağa başladı. YƏC-də pikselin ölçüsü, bir qayda olaraq, 4-dən 30 mkm-dək, vahid pikselin tutumu – 25000-dən 1000000 elektronadək təşkil edir. Astronomiyada istifadə olunmuş fotoplastiklardan fərqli olaraq, monolit YƏC-matrislərin sahəsi, adətən, böyük olur – hazırda ən böyük YƏC-matrislər 9x9 sm ölçüyə malikdir və 108 piksel tuturlar. Ona görə də fotoqrafik lövhələrin tətbiqi üçün düzəldilmiş teleskoplarda fotoqrafiyadan YƏC-kameralara keçid, çox vaxt görmə sahəsinin əhəmiyyətli dərəcədə kiçilməsinə gətirib çıxarırdı. Sonralar YƏC silisium lövhələrinin bərkidilmə sistemi işlənilib hazırlandı ki, bu da bəzi layihələrdə YƏC-matrislərdən ibarət və eninə ölçüsü 60 sm-ə çatan mozaikalarnı eyni bir özü üzərində yığılmasına imkan yaradı.

YƏC-matrisin (düz işıqlı YƏC) silisium lövhəsinin üz tərifində yerləşən elektrodlar sistemi maksimal kvant effektivliyini məhdudlaşdırırdı, belə ki, elektrodlar üzünə düşən fotonlar geriyə istiqamətdə əks olunaraq itirdilər. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün tərs işıqlı YƏC hazırlandı, elektrodlar lövhənin arxa üzündə yerləşdirildi, onun qalınlığı isə 15-40 mkm-dək kiçildildi.

Piksel elektrodlarının tələsinə düşən fotoelektronlardan savayı, ekspozisiya zamanı oraya istilik küyü yaradan istilik elektronları adlanan elektronlar da düşürlər. Sürətli ekspozisiyalarda istilik küyünün təsirinə azaltmaq üçün astronomik YƏC-kameralara soyutma sistemi daxil edilir. YƏC vakuullaşdırılmış yaxud təsirsiz qazlarla doldurulmuş kameraya qoyulur, qəbuledicinin arxasında isə ya Petye elementi (termoelektrik çevirici) ya da maye azotla doldurulmuş qab yerləşdirilir. Elmi kameralar, bir qayda olaraq, YƏC-matrisin 180 K-ə yaxın olan temperaturunda işləyirlər. İstilik küyü ilə yanaşı, YƏC sayarkən ortaya çıxan əlavə küy ARÇ-dən əvvəl qoyulmuş signal gücləndiricisi ilə generasiya edilir, oxuma küyünün tipik qiyməti bir pikseldə 2-dən 20 elektronadək təşkil edir. Beləliklə, dinamik diapazon müasir YƏC-kameralarda 1:150000 nisbətində ola bilər.

Texnologiyanın sonrakı inkişafı astronomları daha həssas cihazlarla – EMCCD (yaxud L3CCD) ilə təmin etdi. Məsələ ondadır ki, oxuma küyü pikselin hər bir qiymətinin rəqəmləşdirilməsi sürətində mütənasib olaraq artır, müasir YƏC-lərdə aşağı oxuma küyü almağa imkan verən tipik tezliklər 50-100 kHs təşkil edir, ona görə də təsvirin tam rəqəmləşdirilməsi üçün çox vaxt ekspozisiya vaxtından da çox vaxt tələb olunur. Sayma vaxtını minimallaşdırmaq üçün böyük YƏC-lər bir neçə çıxış gücləndiriciləri ilə təchiz olundular ki, onlardan da hər biri YƏC-dəki öz sektorundan gələn siqnalı gücləndirirdi. Lakin, ayrı-ayrı fotonlar səviyyəsində işıq dalğalarını tutmağa və bu zaman saniyədə bir neçə kadr əldə etməyə imkan verən matris qəbuledicilərə olan tələbat piksellərin bilavasitə strukturunda yerləşən və siqnalın ARÇ-yə ötürülməsində onun əhəmiyyətli dərəcədə güclənməsinə şərait yaradan çoxkanallı gücləndirici strukturların qurulduğu matrislərin yaradılmasına gətirdi. Statistikanın hesabına belə qəbuledicilərin 1 MHS-dən çox tezliklə rəqəmləşdirmədə oxuma küyü 1 e-ni aşır. Onların ölçüləri hələlik böyük olmayaraq 1024x1024 pikselə qədər olsa da, son illər ayırd etməsi 16 pikselə çatan mühəndis nümunələri meydana çıxmışdır. Bu üstünlüklər həm də müəyyən çatışmazlıqları ortalığa çıxır. EMCCD-lər “azküylü rejimdə” işləyəndə foton küyü üstünlük təşkil edir ki, bu da çox zəif siqnalın qeydiyyatını mürəkkəbləşdirir.

YƏC-lərin inkişafı ilə bərabər astronomiyada CMOS tipli matrisli qəbuledicilər daha çox yayılmağa başlamışdır. Onların əsas fərqi ondadır ki, piksellər daha mürəkkəb quruluşa malik olmaqla, işığa həssas bölgələrlə yanaşı, həm də ilkin gücləndiricilərə də malikdirlər və piksellərin ayrı-ayrı blokları müstəqil surətdə oxuna bilirlər. Birbaşa qəbuledicinin kristalları üzərində yerləşdirilmiş ARÇ-lər paralel olaraq müxtəlif piksellərdən daxil olan siqnalın rəqəmləşdirirlər. Bu konstruksiya rəqəmləşdirmənin sürətini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldilməsinə imkan verdi.

CMOS texnologiyası uzun müddət İQ-matrislərə (infraqırmızı matrislərə) tətbiq edilmişdir. Optik diapazonda həssaslığının zəif olması bu texnologiyanın tətbiqini məhdudlaşdırır. Belə ki, lövhələrin üzərində yerləşdirilmiş elektrodların mürəkkəb strukturları və tranzistorlu gücləndiriciləri səthin müəyyən sahəsini əhatə edir ki, bu da qəbuledicinin kvant effektinin kəskin surətdə aşağı düşməsinə səbəb olur. Litoqrafik submikron proseslərin aşkar edilməsi və geriyə işıqlandırma (YƏC-lərə analoji olan) texnologiyalarının tətbiqi yüksək kvant effektinə malik (93%-ə qədər) oxuma küyü aşağı olan, istilik küyünün azaldılması üçün soyudulmaya adaptə edilmiş və saniyədə bir neçə min kadr oxuya biləcək tezlikli geniş formatlı CMOS-matrislərin yaradılmasına imkan verdi.

Öz arxitekturaları hesabına CMOS-matrislərin enerjiyə tələbatı YƏC-lərlə müqayisədə keyfiyyətdə aşağıdır ki, bu da onların kosmik aparatlarda istifadəsinə yüksək tələbat yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино: Век 2, 2015, 575 с.
2. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии. Москва: УРСС, 2011, 544 с.
3. Черепашук А.М. Многоканальная астрономия. Фрязино: Век 2, 2019, 528 с.

AMEA Naxçıvan Bölməsi
E-mail: azad_mammadli@yahoo.com

Azad Məmmədli

RECEIVERS OF OPTICAL RADIATION IN ASTRONOMY

The modern radiation detectors and methods for capturing images of astronomical objects are considered and analyzed. An important characteristic of such receivers is quantum sensitivity. Further development of technology has allowed the creation of more sensitive devices. Particularly widespread are matrix receivers. The advent of submicron lithographic processes and the use of backlighting technology have made it possible to create new models of widescreen matrices. Such matrices have high quantum sensitivity and are effectively used on spacecraft.

Keywords: telescopes, CCD, photoelectronic devices, matrix detectors, quantum efficiency.

Азад Мамедли

ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АСТРОНОМИИ

Рассмотрены и анализированы современные приемники излучения и способы фиксации изображений астрономических объектов. Важной характеристикой таких приемников является квантовая чувствительность. Дальнейшее развитие технологий позволило создать более чувствительные приборы. Особое распространение получили матричные приемники. Появление субмикронных литографических процессов и применение технологии обратной засветки позволили создать новые модели широкоформатных матриц. Такие матрицы обладают высокой квантовой чувствительностью и эффективно используются на космических аппаратах.

Ключевые слова: телескопы, ПЗС, фотоэлектронные устройства, матричные приемники, квантовая эффективность.

(Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru Səfər Həsənov tərəfindən təqdim edilmişdir)

Daxilolma tarixi: İlk variant 27.02.2020
Son variant 29.04.2020