3.5. Күн элементтерінің эффективтігінің проблемасы

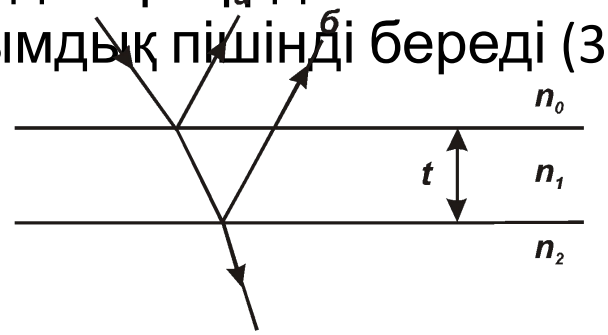
Күн элементтерінің эффективтігі әр түрлі жоғалтуларға байланысты шектеулі; олардың ішінде кейбірінен қашып құтылсақ, кейбірі элементтердің физикалық табиғатына тәуелді. Бір шектеулер анық және тәуелсіз басқарыла алады, ал басқалары күрделірек және материалға тікелей әсер етпейінше басқарылмайды. Мысалы, қоспаның концентрациясының артуы оң немесе теріс эффект беруі мүмкін. 3.1 кестеде АМ1 шартындағы сәулелендірулі p-n–ауысуы бар кремний күн элементтерінің әдеттегі жоғалтулары көрсетілген.

Кремний күн элементтеріне сәкес жоғалтулар

Данные на 1983 г.				Планируемые данные на 2010 г.		
Энергия, оставшаяся после учета потерь в данном процессе, %	Потери мощности	Эффективность	*Примечания*	Эффективность	Потери мощности	Энергия, оставшаяся после учета потерь в данном процессе, %
77	23	0,77	Нет фотопоглощения: $h\nu<E_g$	0,77	23	77
44	33	0,57	Избыток энергии фотонов переходит в тепло $h\nu - E_g$	0,57	33	44
43	1	0,97	Отражение от поверхности	0,99	1	43
42	0,4	0,99	Квантовый КПД	0,99	0,4	43
39	3	0,92	Ограниченная площадь контактов на лицевой поверхности	0,95	1,6	41
19	20	0.5	Потери потенциала $eV_в< E_g$	0.7	12	29
15	4	0,81	Фактор кривизны-максимальная мощность $I_{sc}V_{oc}$	0,87	4	25
10	5	0,65	Добавочный фактор кривизны – A; рекомбина-ционные потери	0,9	2,4	23
0,7	0,3	0,97	Добавочное сопротивление	0,97	0,6	22
0.6	0,1	0,99	Шунтирующее сопротивление	0,99	0,2	21
10	–	–	Полезная мощность	–	–	20

- Өкінішке орай, шығындардың әртүрлі түрлерін белгілеу үшін жалпыға бірдей қабылданған атаулар жоқ. Кесте күн батареяларын шығаруға арналған шығындар туралы деректерді қамтымайды, бірақ ондай өнімдерді әлемдік нарықта шығаратын оннан астам компаниялар бар. Дегенмен, осы тараудың кіріспе бөлімінде айтылғандай, 1998 жылы аккумулятордың құны 1 Вт-қа дейін 3 доллардан аспайды.
- Төменде AM1 жағдайында 100% тең деп болжанған жалпы қарсыласу пайызы ретінде шығындар. Шығындар қысқаша тұжырымдалған және фотокелланың негізінен тұлғадан бағытқа беріледі. Кестедегі тиімділік коэффициенті. 3.1 күн электр энергиясының фотоэлектрлік генерациясы кезінде жұтылатын кіретін сәулелену ағынын пайдалы фракциясына жатқызады.

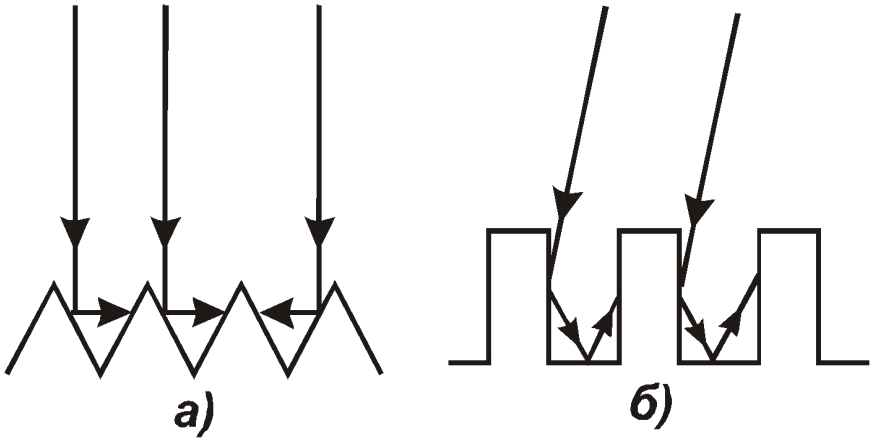
- 1. Күн ұяшығының алдыңғы бетіндегі байланыстардың шектеулі ауданы (шамамен 3% жоғалту). Бетінің қосымша кедергісімен байланысты шығындарды азайту үшін электрлік заряд фотокел бетіндегі металл контактілер торымен жиналады. Бұл байланыстар шектеулі аумаққа ие және белсенді беттің бір бөлігін ғана қамтиды. Бұл шығын тиімділік есептеулерінде үнемі ескерілмейді.
- 2. Бетнен көрініс (шамамен 1% жоғалту). Арнайы шаралар қабылданбаса, жартылайөткізгіштің бетіндегі түсетін күн радиациясының көрініс коэффициенті шамамен 40% құрайды.
- Жартылай өткізгіштің беті тиісті қалыңдығы мен сыну индексі бар жұқа пленкамен жабылған жағдайда, бұл мән 3% -ға дейін төмендетілуі мүмкін (3.17-сурет) немесе қандай да бір түрде бетіне текстураланған немесе құрылымдық пішінді береді (3.18-сурет).



- Сурет. 3.17. Шағылыстыруға қарсы жұқа пленкалағы сәулелердің қозғалысы

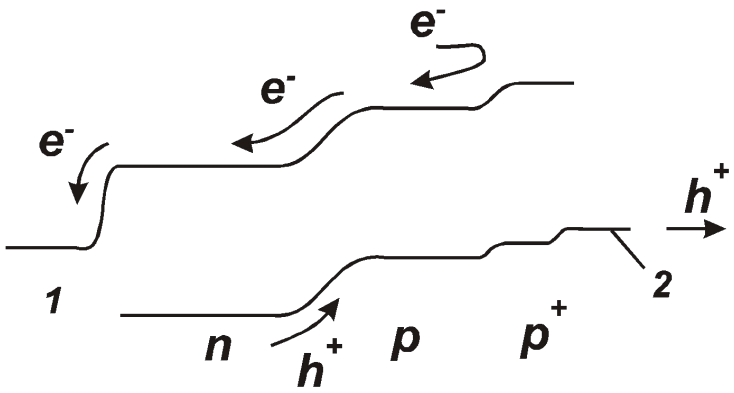
- Есептеу пленка қалыңдығы болуы тиіс екенін көрсетеді
- t = □ / 4n1, (3.25)
- мұндағы □ бұл оқиға жарықтың толқын ұзындығы; n1 жабудың сыну коэффициенті.
- Фильм мен жартылай өткізгіштің сыну көрсеткіштері арасындағы байланыс бар
- (3.26)
- онда n2 - жартылай өткізгіштің сыну индексі.
- Көп қабатты диэлектрлік жабындарды пайдалану осы шығындарды 3% -ға немесе одан төменге дейін азайтуға мүмкіндік береді.

- Сурет. 3.18. Жоғары сіңіру қабілеті бар бетінің түрлері: текстурирленген (а) және құрылымдалған (б)



- 3. Энергиямен фотонды, диапазонның ені енінен аз (шамамен 23% жоғалту). Энергияға ие фотондар h} <Егемен электр тогының генерациясына алып келмейді. Eg = 1.1 эВ диапазонындағы диапазоны бар кремний үшін, белсенді емес толқын ұзындығы AM1 сәулелену жағдайларында 23% құрайды.
- Бұл фотонды сіңіру күн клеткасын жылытуға әкеліп соғады, нәтижесінде ол одан да қызып кетеді, оларға берілген қуат құлдырайды.
- 4. Артық энергиясы бар фотонды (шамамен 33% жоғалту). Белсенді фотондардың артық энергиясы (h□-Eg) жылуға ауысады. Дегенмен, бұл энергия жартылай өткізгіш материалдарды қолдану арқылы жартылай пайдаланылуы мүмкін.
- 5. Кванттық тиімділік (жоғалту 0,4%). Күн батареяларын жобалау кезінде, материалдың сәулеленудің кемінде 95% -ын сіңіру үшін жеткілікті қалыңдығына ие болу керек. Элементтің артқы жағындағы шағылысқан қабатты қолдану радиацияның абсорбирующий материал арқылы өтіп кетуіне мүмкіндік береді.
- Ағымдағы буынның тиімділігі. Жалпы тиімділіктің осы компоненті келесідей анықталады. Бұл фотоэлементтің сыртқы тізбегіндегі ток көзіне қатысатын сәуле ағынының әсерінен пайда болатын электронды тесік жұптарының бір бөлігі. Күн батареясының толық тиімділігімен - 10%, ағымдағы ұрпақтың өнімділігі шамамен 0,7 құрайды. Бұл параметрді 0,9 дейін жоғарылату жалпы тиімділікті 20% -ға дейін немесе одан да арттыруға әкеледі, сондықтан басты мақсат - күн батареяларын жақсарту.

- Бұл параметрді өзгерту үшін әр түрлі жолдары бар. ықтимал ұзарту бірі артқы жағында металл байланыста жақын әлеуетті тосқауыл қалыптастыру болып табылады. .. p өндірілген электрондар - PN-өтпелі қабатының үшін қосымша кедергі 200 kV□m-1 (сурет 3.19) Азшылық тасымалдаушыларды құру P-түрі қабатының үшін 1 мкм қалыңдығы жоғары қоспалы концентрациясы (мысалы, P + қабаты қалыптасады осы p + облысының жақын -layer, тезірек артқы бүйір мүшесі диффузияның электронды ағыны қарағанда негізгі PN-көшу бағытында әлеуетті градиентті көрініс, егер.
- Сурет. 3.19. ? Артқы жағында металл контактіге электрондардың диффузия азайтады қосымша әлеуетті тосқауыл бар ұяшықта тасымалдаушылардың қозғалысы: 1 - алдыңғы байланыс; 2 - металл контакт



-
- Нәтижесінде, кері байланыстағы рекомбинация жылдамдығы төмендейді. тесіктеріне ұқсас әсерге қол жеткізуге, ал Diodopodobnye Мұндай қабаттар (мысалы, N + және N) алдыңғы бетінде қосылған болуы мүмкін. Нәтижесінде, қабылдаушы бетінің сіңіру коэффициенті артады.
- 7. Потенциалды жоғалту (шамамен 20%). Әрбір сіңірілетін фотонды A / e (кремний үшін - 1,1 В) потенциалды айырмашылығы бар электронды тесік жұпын шығарады. Дегенмен, осы әлеуеттің тек қана бөлігі (Vv) сыртқы тізбекде ЭМӨ құруда қатысады. Бұл сур. көшу аймақтары мен әлеуетті айырма (Vc) құру әкелуі тасымалдаушы диффузия, бағыты бойымен орналасқан жерін көрсетеді 3.4. Әлеуетті жоғалту FIGN = e Vв / Eg мәнін сипаттайды. Кремнийлі фотоселлаларда F.1 0.6-дан 0.5-ге дейін, Vb 0.66-дан 0.55 В-ге дейін өзгереді.
- Пайда мен ЭҚК жоғалту (□n + □p), ферма деңгейі көшу бойымен ашық тізбегіндегі бастап донорлық және акцепторлық тиісінше өткізу және валенттілігі аймағы шекарасынан асырылуын деңгейдегі, және □n □p теңестіріледі.
- Арттыру, қоспаның концентрациясы ұлғаюына F□ (0,01 Om□m кедергісі бар кремний ұяшықтар 0,1 Om□m нақты қарсылық маңызы көп Vb және Лос жасауға бар) әкеледі. Басқа фотоселлерде, мысалы, GaAs F.9 μ 0.8.
- 8. Fc (жоғалту шамамен 4%) ағымдағы кернеу сипаттамасының қисаюы. Күн ұяшығының ағымдағы кернеу сипаттамасы p-n түйінінің сипаттамасына қатты тәуелді (3.8-сурет). элементтің шығу кернеуі Лос көтеріледі болса, онда ол сол арқылы рекомбинация ағымдағы □r арқылы ішкі өтуін арттыру, аудару үшін қолданылады алға жылжуы арттырады. Бұл нәтиже жүйеде шығындардың негізгі себебі болып табылады. Максималды қуат Pmax сипаттамасының экспоненциалды пішініне байланысты □sc□Voc өнімінен аз.
- Factor қисықтық Fc, кейде қанықтығын параметр Рмакс қабілетін / (□sc□Voc) тең деп аталады. Бұл фактордың кремнийдің максималды мәні - 0,88.

- 9. Қосымша қисықтық коэффициент (шығындар шамамен 5%), нақты күн батареяларының вольт-ампер сипаттамалары тәуелділікте сипатталады
- □ = □0 эксп [еВ / (АқТ) - 1] - ИЛ. (3.27)
- А (А> 2 көптеген өнеркәсіптік фотоселлалар үшін) коэффициентінің пайда болуы өтпелі аймақта рекомбинацияның жоғарылауымен байланысты. Бұл сондай-ақ Voc және δадо өзгеруіне әкеледі, сондықтан максималды шығыс қуаты А = 1 ғана жүзеге асырылады.
- 10. Қосымша қарсылық (жоғалту шамамен 0,3%). Күннің жасушаларында материалдың бүкіл көлемінен заряд тасымалдаушылар шығыс өткізгіштерінің контактілеріне тарайды. Артқы жағында контакті бүкіл элементті толтыра алады және бетінің кедергісі аз болады. Бірақ элементтің беткі беті күн сәулесімен қаншалықты мүмкін болуы керек, сондықтан байланыстары бар аймақ барынша азайтылуы керек. Бұл тасымалдаушылардың орташа бос жолын ұлғайтуға және қосымша қарсылықтың пайда болуына әкеледі. Қазіргі уақытта өндірісте айтарлықтай прогреске қол жеткізілді және осы байланыстарды бетіне оңтайлы орналастыру. Бетінің қосымша қарсылық элементтері 0,1 Ом дейін төмендейді, олардың кедергісі 20 Ом максималды қуатта.
- Шунттың кедергісі (шығындар аз, шамамен 0,1%)
- Маневрлік қарсылықтың пайда болуы - күн батареясының көлемінде және бетіндегі кернеулердегі ақаулардың салдары. Қазіргі заманғы технология осы кемшіліктердің пайда болуын болдырмайды және олардың әсерін шамалы етеді, сондықтан бір кристалды кремний элементі үшін маневрлік қарсылықты ескермеу керек.
- 12. Кестеден. 3.1. онда кремний күн батареяларында пайдалы қуат шамамен 10% (барлық шығындарды қоса алғанда). Сонымен қатар, сол кестеде (оң жақта) ұсынылған жақсартулар туралы деректер ұсынылған, ол бір кристалды кремний фотоселдерінің тиімділігін 20-22%
- Дегенмен, көптеген зерттеушілер кремний күн батареяларының максималды тиімділігі 23-25% жетуі мүмкін, ал гетероциклдердегі элементтер немесе кезеңдік ауысулар - 30%. Монтаждаушы сәулелену концентрациясы немесе басқа құрылғылар бар жүйелерді пайдаланған жағдайда - 40% дейін. Бұдан басқа, кіріс күн сәулесінің спектрі тиімділігіне абсолюттік шектеулер қойылғанын атап өткен жөн. Күн сәулесінің кремнийлері үшін максималды тиімділігі шамамен 47% болуы мүмкін.

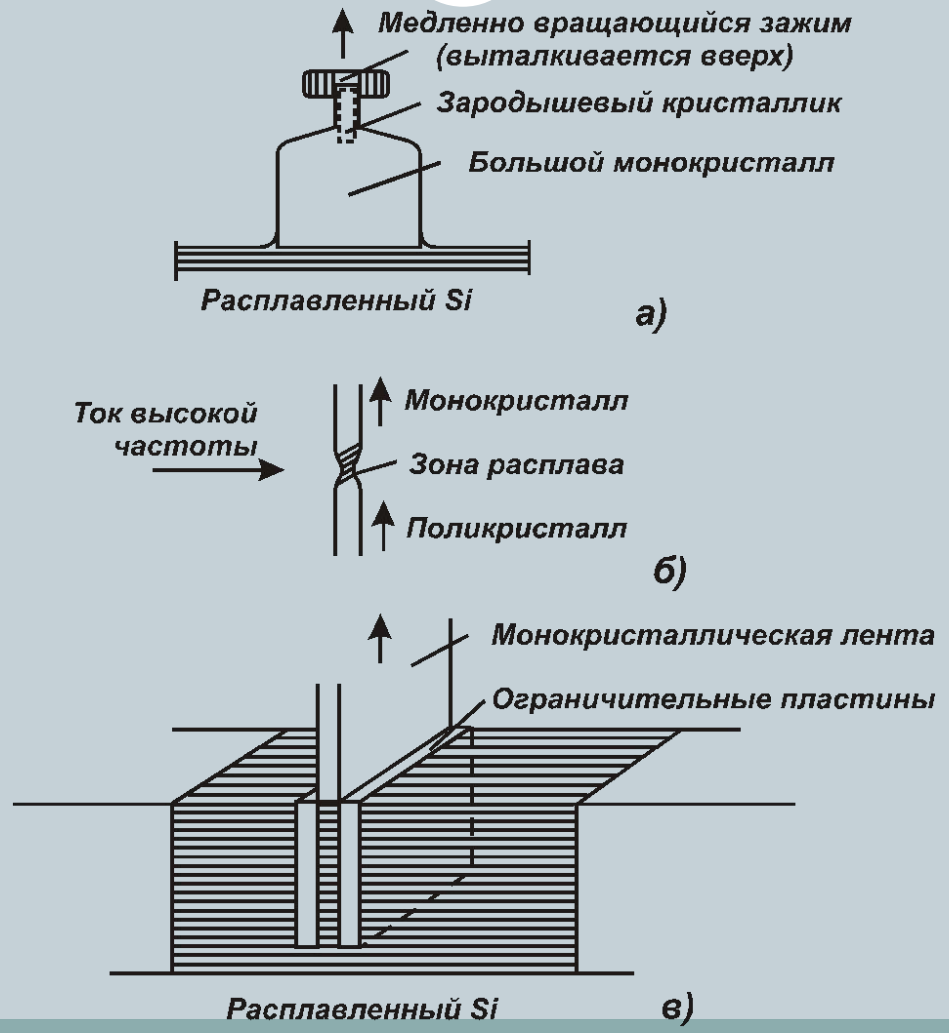
3.6. Материалдар мен өндіріс технологиясына қойылатын талаптар күн батареялары мен батареялар

- Күн батареялары мен батареялардың өнеркәсіптік өнімдері, сондай-ақ оларды өндіру әдістері бар. Олардың біреуін - бірыңғай кристалды кремний күн батареясын қысқаша сипаттаңыз. Бұл элементтің жалпы көрінісі күріш. 3.1
- Материалдарға қойылатын негізгі техникалық талаптар төменде берілген.
- Бастапқы материал химиялық жағынан таза және тұрақты қасиеттерге ие болуға тиіс. Оларды жасау үдерісін және жоғары дәлдік деңгейін жалпы бақылауды қамтамасыз ету қажет.
- Күн элементтері көп мөлшерде минималды шығындармен шығарылуы керек.
- Күн батареялары қоршаған ортаға әсер ету жағдайында кемінде 20 жыл қызмет ету мерзіміне ие болуы керек. Күн сәулесінің концентрациясы болмаса да, элементтің жұмыс температурасы -30 ° С-ден +200 ° С-ге дейін өзгеруі мүмкін екенін ескеру қажет.
- Электрлік контактілер барлық коррозия түрлерінен тұрақты және су өткізбеуі керек.
- Жалпы алғанда, күн батареясының дизайны элементтердің бірінің бұзылуы бүкіл батареяның және тұтастай жүйенің істен шығуына әкелмеуі керек. Ол үшін кез-келген элемент (немесе элементтер тобы) болмаған жағдайда басқа элементтердің істен шығу мүмкіндігін жоққа шығаратын элементтердің параллельді және дәйекті қосылымдары қолданылады.

- Құрама модульдері мен батареялар, тіпті кез келген көлік түрімен күрделі және шалғай аудандарда, тасымалдау үшін жарамды болуы тиіс.
- қоспаның концентрациясы негізгі заттың 109 атомдарының бір атомы кем болуы тиіс, ол поликристалды дайындамалардың, яғни электрондық жартылай өткізгіш материалдарды пайдаланылатын жоғары тазалықтағы кремний монокристаллов алу үшін 1 м3 үшін 1018 атомнан аз.
- Кремнийлі монокристалды өндіру үшін келесі әдістер кеңінен қолданылады.
- Біріншіден. Чочральск әдісі. Бұл өсіп келе жатқан жалғыз кристалдар үшін сондай-ақ белгіленген әдістемесі балқыған материалдың (сур. 3.20, а) шағын тұқым кристалл тиеген болып табылады. Қоспалар балқымаға қосылады. Содан кейін кристалды эмбрион төмен жылдамдықпен түсе бастайды (әдетте 1 ... 10 мм / сағ). Бұл тұқым кристалды әдетте, сондай-ақ қоспалардың неғұрлым біркелкі тарату үшін шамамен 1 ... 2 / мин жылдамдықпен ось айналасында бұрылады кезде.
- кристалл диаметрі 20 см ... дейін 15 болуы мүмкін. Cultured осылайша бір кристалды содан кейін қалың 300 микронға жуық кесектерге кесілген. Бұл қиып ... процесінің маңызды құнының жоғары болуына әкеледі монокристалдық материалдың, 50% жуық £ 40 жұмсады.

- *Екінші жиі қолданылатын әдіс аймақты балқыту немесе қайта кристаллизациялау болып табылады. Бұл жағдайда, поликристалл материал катанкасына құрылған. аймағы байланысты ағымдағы жоғары жиілікті қыздыру немесе лазер үшін өзекше бойымен созылып балқып (сур. 3.20, б) әділдік Бұл әдіс көбінесе материалдарды тазарту үшін пайдаланылады атап өткен жөн, бірақ ол бір кристалдар өсіру үшін, сондай-ақ пайдалануға болады. Бұл әдіспен кристалдардың кесілу процесі қажет.*
- *(- Степанов ның әдісімен орыс әдебиеті) әдетте таспа әдісі деп аталатын монокристаллов, өндіру үшін пайдаланылатын Үшінші әдіс. Бұл әдіс (сур. 3.20) 15 см кең және 300 м қалың ... кристалл және 10 рет өсті бір кристалды жұқа таспа дейін, өйткені қалдықтарды сөзсіз пайда кесу жояды таспа үлкен диаметрі бойынша барабанға болады. ол талап ретінде күн ұяшықты өндіру үшін лентаны қиып.*

Сурет. 3.20. Монокристалды өсірудің кейбір әдістерінің схемалары: Чочральский әдісі (а); аймақтың балқыту (б); таспа әдісі (Stepanov әдісі) (с)



- *Төртінші тәсілі вакуумдық тұндыру, бірақ кремний қабаттар 300 микронға алуға, бұл өте қиын болып табылады және жиі қызмет көрсету? Тұрақты тұндыру параметрлері күрделі некеге әкеледі. Бірақ беті металл қабатын қалыптастыру бұл әдіс диодтың Шоттки өндірісінде қолданылады. Тасымалдауды кремний диафрагманың бланкаларын шығару үшін де пайдалануға болады. Алайда, бұл жағдайда поликристалл материал болып табылады және оның тиімділігі соншалықты жоғары емес. Бірақ бұл процесс өте арзан.*
- *Монокристалдық кремнийлі вафельді дайындау кезінде қалыңдығы 300 ... 400 мкм, олар көбінесе химиялық шаймалауға ұшырайды. Донорлардың (мысалы, фосфордың) беткі қабатына диффузиясы кезінде н-типті материалдың жұқа қабаты қалыптасады.*
- *Көбінесе, фильмдер атмосферада POCl3 қосу арқылы қызады.*
- *Электрлік байланыстар торын жасау үшін фотолитография әдісі қолданылады. Біріншіден, кремний төмен Ом контакт жасауға арналған, титан выпаривали және күміс титан, өткізгіш тор алу үшін соңғы сақтауға жұқа қабатымен химиялық өзара іс-қимылды болдырмау үшін палладий, содан кейін өте жұқа қабаты (сур. 3.1). Кейде басқа әдістермен электропласта және полиграфия қолданылады.*

- Вакуумды буландырудың технологиялық үдерісінде соңғы қабатқа қарсы қабаттар қолданылады. Көбінесе алюминий осы мақсатта қолданылады. Алюминийдің диффузиясында артқы бетінде p-типті материалдардағы P + қосымша әлеуетті кедергі пайда болады. Ол салыстырмалы қалың сыртқы қабат түрінде электрлік металл контактісіне қолданылады. Текстурланған беттерге арналған антифлексивтік қасиеттер көбінесе химиялық шөгінділермен және құрылымдалған қабаттармен фотолитография арқылы жасалады.
- Жеке фотоселлалар (шамамен 10х10 см 2) әрқайсысы 30-33 дана модульге жинақталады. Әрбір модуль әдетте біріктірілген элементтердің үш-бес бағанынан тұрады (3.16-сурет). Мұндай құрылғы 15 В-қа тең EMF жасайды, бұл 12 В-ға дейін қайта зарядталатын батареяға жеткілікті.
- Дөңгелек фотоселлалардың тығыз орналасуымен модуль аймағының 15% дейін жоғалады. Элементтер көбінесе ультракүлгін сәулеленуге енбейтін пластмассалық мөлдір қақпақшалар мен артқы жағындағы пластиналар арасындағы жеткілікті күшті және төменгі жылу кедергісі болуы тиіс инертті толтырғышқа орналастырылады. Қақпақ герметикалық жабысып, сыртқы әсерлерге, соның ішінде үлкен термиялық жүктемелерге суға төзімді болуы керек.