

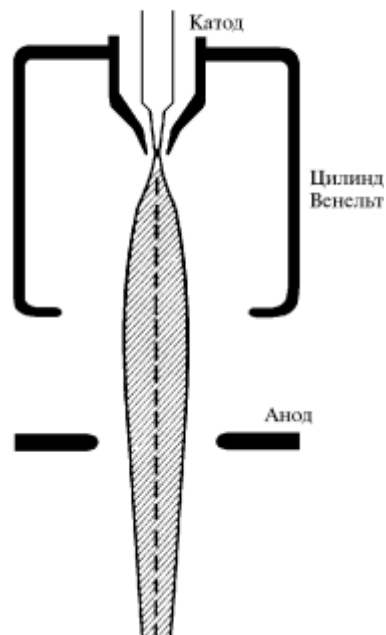
Дәріс 4 Электрондық зондты қалыптастыру сэм-дегі екінші реттік сигнал детекторлары

Дәріс жоспары:

- 1 Электрон шоғының сұлбасы, катодқа берілетін үдетуші энергия
- 2 Екінші ретті электрондарды тіркейтін детектор
- 3 Жартылай өткізгішті детекторлар

Электронды зеңбірек электрондар көзінен тұрады (вольфрам катоды; катод лантан Гексаборидінен LaB₆; автоэмиссиялық катод), модулятор (Венельт цилиндрі) және анод. Модулятор әдетте катодқа қатысты теріс потенциал (бірнеше жүз вольт) астында болады, бұл модулятордың артында орналасқан Диаметрі d_0 , дивергенциясы α_0 және кроссовер деп аталатын электронды сәулені фокустауға мүмкіндік береді.

Вольфрам катоды үшін ток тығыздығы $J_0=1.75 \text{ A/cm}^2$, үдетуші кернеу 25кВ болса токтың мәні $I=100\div 200\text{mkA}$ болады. Қажетті айқындалу мәніне жету үшін мысалы $50\text{\AA}\div 1\text{мкм}$, яғни 10000 есе, онда шоқтың тоғы айтарлықтай азаяды, 0,01нА ге дейін.



Электрон шоғының схемасы

Кроссовердің кішірейтілген бейнесі одан әрі конденсатор арқылы қалыптасады, бір немесе бірнеше линзалардан тұратын микроскоп жүйесі және нысанның бетінде зондтың минималды дағын (пятно) құрайтын соңғы линза, объективті линза деп аталады. Егер конденсаторлық жүйеде ауытқулар (абберация) мүлдем болмаса, онда үлгідегі d нүктесінің ең аз мөлшері қандай болатынын көрсетуге болады:

$$d = \sqrt{\frac{i}{B\alpha^2}}, \quad \text{где } B = (0.62 \pi/4) \cdot \left(\frac{eV_0}{kT}\right) \cdot J_0.$$

Берілген коэффициенттен зондтың диаметрінің тұрақты мәнінде сәуле немесе электрон шоғының тоғын арттыру үшін электрон шоғының апертурасын ұлғайту керек.

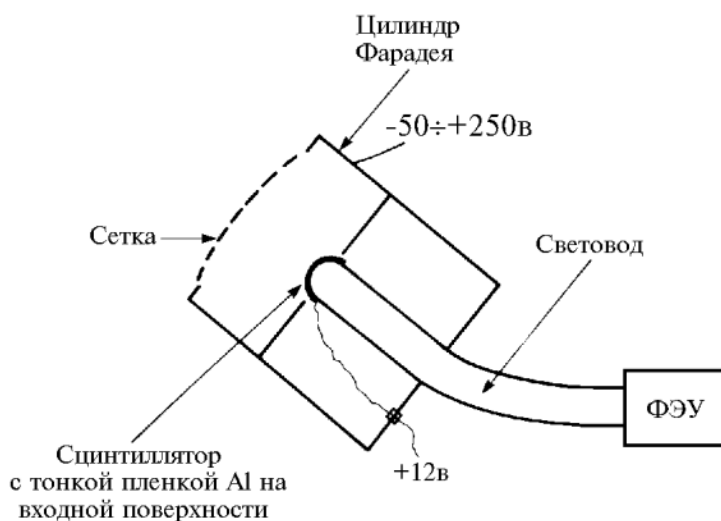
Зондтың тоғын арттырудың бірнеше әдісі бар. Бір жағынан, электрондардың толқын ұзындығын төмендету арқылы үдеткіш кернеуді арттыру арқылы, екінші жағынан линзалардың абберациясын және ең алдымен сфералық абберацияны азайту арқылы.

Сондай ақ, гексаборид лантан катодын қолдану арқылы да ток тығыздығын арттыруға болады. Алайда, жоғарыда айтылған шарттардың барлығында табиғи шектеулер бар екенін есте ұстаған жөн, өйткені сәулелік электрондардың үлгі материалымен әрекеттесуі нәтижесінде зондтың диаметрімен салыстырғанда екінші ретті сигналдар пайда болатын аймақтың айтарлықтай өсуі байқалады. Сондықтан СЭМ-дегі ажырату қабілеті, ең алдымен, зондтың диаметрімен емес, екінші ретті электрондар түзілетін аймақтың өлшемдерімен анықталады.

СЭМ-ДЕГІ ЕКІНШІ РЕТТІК СИГНАЛ ДЕТЕКТОРЛАРЫ

Зондтың диаметрі 100 \AA болғанда, түзілетін ток шамамен 0.01 нА құрайды. Екінші ретті эмиссия коэффициенті бірге тең деп есептесек те, екінші ретті электрондардың тогы тек $0,01 \text{ нА}$ құрайды. Бұл СЭМ-та әлсіз сигналдарды тіркеу қажеттілігіне әкеледі, бұл өз кезегінде күрделі техникалық міндет болып табылады.

Сцинтилляциялық детектор. Қазіргі уақытта сцинтилляциялық детекторлар екінші реттік электрондарды тіркеу үшін СЭМ-де кең таралған. Мұндай детектордың құрылымы суретте көрсетілген.5.4.



Эверхарт - Торнли детекторының сұлбасы

Екінші ретті электрондар электрон энергиясын жарық энергиясына айналдыратын сцинтилляторға түседі, әрі қарай жарық энергиясы фотокатодпен қармалады да фототокқа түрленеді және фотоэлектронды көбейткішпен күшейтіледі. Сцинтиллятормен фотоэлектронды көбейткіштің арасында фотокөбейткішті шығаруға мүмкіндік беретін световод яғни жарық өткізгіші тұрады, световодтың жұмысы СЭМ тың вакуумдық камерасынан тыс сыртқы электр және магнит өрістеріне өте сезімтал болып келеді. Қолданылатын сцинтилляторлардың көпшілігі энергиясы 10 кЭв -тан асатын электрондардың әсерінен жарық шығаратындықтан, оның сыртқы бетіне жұқа мөлдір металл қабаты жағылады және екінші электрондар үшін спектрдің төмен энергиялы бөлігін жинау және үдету үшін шамамен 12 кВ оң кернеу беріледі. Бірінші ретті электрондар шоғына осы электр өрісінің әсерін болдырмау үшін, сцинтиллятор Фарадей цилиндрінің ішіне орналастырылады, оған бірнеше ондаған вольт ($-50 \div +250 \text{ В}$) кернеу беріледі және аз шамадағы оң потенциал төмен энергиялы электрондарды жинау үшін қолданылады, олар цилиндрге енген кезде сцинтиллятор бетіндегі қосымша потенциалмен үдетіледі. Коллектордағы теріс кернеу тек шағылған электрондардың контрастін бақылау үшін төмен энергиялы екінші ретті электрондар үшін кірісті толық жабады. Бұл Детектор оны жасаған авторлардың атымен Эверхарт-Торнли детекторы деп аталады. Төмен энергиялы

электрондарды жинау тиімділігі жоғары энергияға қарағанда жоғары болатынын атап өткен жөн. Бұны Эверхарт - Торнли детекторының сұлбасынан түсінуге болады. Спектрдің төмен энергиялы бөлігінің электрондарды жинау бұрышы коллектордың оң потенциалына байланысты артады. Шағылысқан электрондар үшін жинау бұрышы детектордың кіріс бұрышының өлшемімен және оның үлгіге дейінгі қашықтығымен ғана анықталады. Соңында, сцинтиллятор материалы оған түсетін электрондардың әсерінен радиациялық ақауларды жинақтау арқылы біртіндеп ыдырайтынын, детектордың тиімділігін нашарлататынын және мезгіл-мезгіл ауыстыруды қажет ететінін атап өткен жөн.

Жартылай өткізгіш детектор. p-n ауысуға жақын жартылай өткізгіш материалына келіп түскен екінші ретті электрондар электрон-кемтік жұбын қалыптастырады, бұл p-n ауысуда токтың тууына алып келеді. Бұл ток жартылай өткізгіштің монокристаллымен жұтылған электрондар санына пропорционал болады. Сигналдың жеткілікті мөлшерін алу үшін ток одан әрі арнайы күшейткіштерімен күшейтіледі. Электрондарда электронды-кемтік жұптарын құруға жеткілікті энергия болуы керек, сондықтан жартылай өткізгіш детектор (ППД – полупроводниковый детектор) әдетте екінші ретті электрондардың жоғары энергетикалық бөлігін тіркеу үшін қолданылады. Өйткені p-n ауысу Жартылай өткізгіш детекторы арқылы электрондарды тіркеуді, жинақтауда эффективті болып келеді.

Катодолюминесценция сәулесінің детекторы. Электрондар шоғының әсерінен нысананың (зерттеліп отырған үлгінің) шығаратын жарық мөлшері әдетте аз болады, сондықтан жарық кванттарын жинаудың тиімділігін арттыру үшін арнайы айналар қолданылады, бұл айналар айнарудың жарты эллипсоидты түрінде жасалады, оның бір фокусына нысана, екіншісіне световод (жарық бағыттағыш) яғни микроскоптың вакуумдық камерасынан тыс жарықты қабылдайтын қабылдағыш орнатылады. Әрі қарай жарық фотоэлектронды көбейткіш деп аталатын интегралды детектормен, не болмаса толқын ұзындығы бойынша жарықтың таралуын зерттеуге мүмкіндік беретін спектрометрмен тіркеледі. Айнада саңылау болады, осы саңылау арқылы электрон шоғы үлгіге бағытталады.

Рентген сәулесін тіркеу. Рентген сәулесін тіркеу үшін екі түрлі жүйе қолданылады. Біріншіден, Жарық күшін арттыру үшін иілген кристалды анализаторлары бар дифракциялық спектрометрлер қолданылады. Сцинтилляторлық детектор әдетте рентген қабылдағыш ретінде қызмет етеді. Кристалл – сцинтиллятор ретінде NaI(Tl) монокристаллы қолданылады. Екіншіден, p-n ауысуы Si(Li) негізінде жартылай өткізгішті детектор типіндегі энергия дисперсті жүйе қолданылады. Энергиядисперсті детекторлар кристалл-дифракцияла спектрометрлерге қарағанда энергетикалық ажырату қабілеті төмен болады (100÷150эВ), дегенмен, үлгіні және детекторды жылжытпай барлық спектрді бір мезгілде тіркеу және тіркеген мәліметтерді компьютерде өте тез өңдеу арқылы қазіргі кезде бұл детекторлар кең қолданыс табуда.

Дәрісті бекіту сұрақтары:

- 1 Эверхарт-Торнли детекторының жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз?
- 2 Жартылай өткізгішті детекторлар қандай сигналдарды тіркейді?
- 3 Катодолюминесценция сәулесінің детекторының жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз?

Әдебиеттер тізімі:

1. Алфимова, М.М. Занимательные нанотехнологии / М.М. Алфимова. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 823 с.
2. В.И. Марголин и др. Введение в нанотехнологию / В.И. Марголин и др. - М.: Лань, 2012. - 464 с.
3. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии РАН Институт физики низкоструктур, г. Нижний Новгород, 2004. -110с.

4. Пашкеев, И.Ю. Самойлова, О.В. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ / Учебное пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – 47 с.
5. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяненок А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ Техносфера, Москва, 2009 г.
6. Griffiths G. The Use of Electron Microscopy in Cell Biology. MCB, 2004, 68 p.