**A Pásztázó Elektronmikroszkóp képének feldolgozása LabVIEW segítségével**

**Témalaboratórium**

**Tóth Ádám Raymond**

**Mikroelektronikai tervezés specializáció**

**Konzulens: Dr. Neumann Péter Lajos, adjunktus**

**Tartalomjegyzék**

**Abstract**

This paper presents…

**Összefoglalás**

A témalaboratórium keretei között a pásztázó elektronmikroszkóppal és a LabVIEW környzettel foglalkoztam. Egy olyan LabVIEW program volt a cél, amit a mikroszkóp kimeneti jeleire kötve meg tudja jeleníteni a minta leképezését, illetve digitális képfeldolgozást is tud rajta végezni, ezzel segítve a felhasználót, hogy több hasznos információt nyerhessen a mintáról.

**Bevezetés**

A pásztázó elektronmikroszkóp, az angol szakirodalomban scanning electron microscope (továbbiakban csak SEM), egy olyan eszköz ami leképezi a minta felszínét. Ezt olyan módon teszi meg, hogy egy fókuszált elelktronnyalábbal végigpásztázza a minta felületét, amiből ennek hatására elektronok lépnek ki és ezeket detektálja. A leképezés a képcsöves televíziók pásztázásához hasonlít. A mikroszkóp jeleit egy LabVIEW-val (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) programozható fpga fogadja, dolgozza fel és jeleníti meg.

A fénymikroszkópokhoz képest a SEM sokkal jobb felbontóképességel rendelkezik, míg az első a fény hullámhossza miatt körübelül 500 nm-ig képes lemenni, addig egy átlagosnak mondható elektronmikroszkóp 5 nm-es felbontásra képes (speciális téremissziós katóddal 1 nm). Mélységélességet tekintve a pásztázó elektronmikroszkóp 3-4 mm-ével szemben a fénymikroszkóp 1-10 um ér el.

Az első pásztázó elektronmikroszkóp 1942-ben építette Vladimir Kosmich Zworykin. Kereskedelmi forgalomba 1965-ben került.

1. **Felépítés**
2. **Vákuumrendszer**

A pásztázó elektronmikroszkóp működésének egyik feltétele, hogy az elektronágyú nagyvákuumban van, ez azért szükséges, hogy a környezetében ne keletkezzenek pozitív ionok, amik az ellenkező töltések vonzása miatt megroncsolnák a katódot. Másik célja az, hogy megakadályozza a krakkolást, ami annyit jelent, hogy az elektronnyaláb lebontja a levegőben lévő szénhidrogéneket és egy szénréteget hozt létre a minta felületén. Elővákuumot létrehozatunk egy rotációs szivattyúval, majd ezt tovább javíthatjuk diffúziós vagy turbomolekuláris szivatrtyúval (ez kiegészülhet ion szivattyúval is).

1. **Elektronágyú**

Az elektronágyú hozza létre az elektronnyalábot, aminek nyalábátmérője fordítottan arányos a felbontóképességgel. Az átmérő csökkentésével csökken a nyaláb árama is, ami zajos képhez vezethet, ezért nagy forrásfényességre van szükségünk. A fényességet az egységnyi térszögre vonatkoztatott áramsűrűséggel mérjük. A legelterjedtebb katódok a termikus volfrám-, lantán-hexaborid-, cérium-hexaborid- és a termikus katód.

1. **Mágneses lencsék**

Az elektronnyaláb fókuszálására használnak mind mágneses mind elektromos lencséket, de a SEM esetében a mágneses elterjedtebb, mivel könnyebben kezelhetők és kissebek a lencsehibák. Feladata a minimális nyalábátmérőt lekicsinyítse a minta felületére, ezt a Lorentz erő segítségével éri el.

1. **Pásztázó tekercsek**

A pásztázást két tekercspár segítségével valósítják meg. A vízszintes és a függőleges eltérítést is fűrészfogas jelekkel irányítják. Lassú pásztázással javítható a jel-zaj viszony. Analóg esetben a nyaláb folyamatosan mozog, míg digitális pásztázáskor a nyalábot diszkrét értékek vezérlik. Ez utóbbinka az az előnye, hogy elterjedtebb a számítógépes vezérlés, képfeldolgozás és automatizálás területén

1. **Detektor**

A szekunder és visszaszórt elektron-kép előállításában leggyakrabban haszált az Everhart-Trornley detektor, amely úgy működik, hogy a mintáról jövő elektronok vékony fémréteggel bevont scintillátorba csapódnak, és ez által fényfelvillanásokat okoznak. Az így keletkezett fényjelek fényvezetőn keresztül kerül a fotoelektronsokszorozóba, amelynek első elektródáján elektronokat váltanak ki. A szcintillátort egy fémréteg borítja, amire +10kV-os feszültséget kapcsolunk, ez elősegíti a szekunder elektronok gyorsítását, amik gyorsítás nélkül nem lennének képesek áthatolni ezen a fémrétegen. A szcintillátor körül egy fém ház is megtalálható ami árnyékolja a szekunderelektron-detektor hatását az elektronnyalábra. Erre a fémházra kapcsolt potenciállal lehet befolyásolni, hogy milyen jeleket detektálunk, ha csak visszaszórt elektronokat akarunk, akkor ezt a pontenciált 50 V-ra állítjuk be (visszaszórtelektron-üzemmód). Ellenkező esetben mind visszaszórt- mind pedig szekunderelektronokat is detektálunk, de geometriai elhelyezkedés miatt szekunder elektronból többet (szekunderelektron-üzemmód).

Az előbb ismertetett, módok hatással vannak a a kapott kép megvilágítására, és erős összefüggést mutat a fényoptikai megvilágítással. Visszaszórt elektron üzemmódban a fémház előfeszítése miatt nem detektálunk szekunder elektronokat csak visszaszórt elektronokat, ez utóbbit nagy sebessége miatt a minta detektorral ellentétes irányba néző részeiről nem tudunk begyűjteni. Ezért ezek a részek sötétek maradnak a képen, ami olyan hatást kelt, mintha a mintát egyik oldaláról egy pontból világítottuk volna meg. Szekunderelektron üzemmódban való leképezéskor a mintából kilépő szinte összes szekunderelektront (50-100%) detektáljuk, valamint elenyésző mennyiségű visszaszórt elektront is. Ebben az esetben a megvilágítás annak felel meg, mintha körben minden irányból, a minta minden része egyenletesen lenne megvilágítva

1. **Gerjesztett jelek**

Az mikroszkóp által besugárzott elektronok többféleképpen lép kölcsönhatásba a mintával, ami ezen gerjesztés hatására, egy adott gerjesztési térfogatból különböző jeleket pl.:elektronok, sugárzás, fényemmisszió bocsát ki magából

* + - 1. **Szekunder elektronok**

Az 50 eV-nál kisebb elektronokat hívjuk szekunder elektronnak. Ezek úgy keletkenek, hogy a besugárzó elektronnyaláb leszakítja őket a külső elektronhélyról. A szekunder elektronok a minta felületi geometriájáról (topográfiájáról) hordoznak információt, velük készíthető a legjobb felbontású kép, mivel kis energiájuk miatt kisebb mintapontokból származnak a többi jelhez képest

* + - 1. **Visszaszórt elektronok**

Az 50 eV-nál nagyobb energiájú elektronokat visszaszórt elektronnak nevezzük. Mind topográfiai mind kompozíciós (kémiai összetétel) információt hordoznak. A rendszámfüggése monoton növekvő, így a minta nagy rendszámú elemekben sűrűbb részei világosabban jelennek meg.

* + - 1. **Abszorbeált elektronok**

A besugárzó áramból a mintában abszorbeált elektronok alkotják a mintaáramot, ami kémiai információt tartalmaz. A visszaszórt elektronhoz képest a kapott képnek fordított a kontrasztja.

* + - 1. **Röntgensugárzás**

A mintából kétfajta röntgensugárzás lép ki. Az egyik az elektronok rugalmatlan ütközése során energiaveszteségből létrejövő karakterisztikus röntgensugárzás. A másik a lassú elektronok által kisugárzott energiából adódó folytonos röntgensugárzás. Mindkettő kémiai információt hordoz a mintáról.

* + - 1. **Fényemisszió**

A fényemissziót vagy más néven katódlumineszenciát, a mintát érő nagy energiájú elektronok gerjesztik. A kibocsátott fényt vizsgálva a rekombinációs centrumok helyéről kaphatunk információt.

* + - 1. **Elektronsugárindukálta áram**

A besugárzás hatására áram indukálodik a p-n átmeneteknél (vagy Schottky-átmeneteknél), így ezekről a helyekről kaphatunk információt.

* + - 1. **Auger-elektronok**

Ha a nyaláb egy belső héjről lök ki elektront akkor a külső héjról „beugrik” a helyére egy másik, energiafeleslegét vagy kisugározza vagy kilök egy másik elektront ami elviszi az energiakülönbséget, ezt nevezzük Auger-elektronnak. Ezek az elektronok nem tartalmaznak számunkra információt.

1. **Analóg jelfeldolgozás és digitális képmegmunkálás**

A detektált jelek jel- és képfeldolgozására az emberi tényező miatt van szükség. Ugyani a leképezett kép lényegében egy fekete-fehér (monokromatikus) intenzitás mátrix, de az emberi szem csak bizonyos intenzitáskülönbségeket tud észrevenni, így a felhsználó egyes részleteket, apró különbségeket nem tud megfigyelni. A legkissebb intenzitásbeli különbség amit már az emberi szem észleli tud kb 5%. A fényérzékelése logaritmikus azaz kis fényességtartományban jobban meg tud különböztetni, mint nagyban. Ezekből adódóan a szem olyan 15-20 szürkeségi fokozat között tudja észrevenni az eltérést. Valamint a szem tulajdonságai miatt meg kell különböztetnünk az élfelbontást és a pontfelbontást.

* + - 1. **Alapfogalmak:**
         1. **Képpont**

A pásztázó elektronmikroszkópiában fényképezésre használt katódsugárcső által kibocsátott elektronsugarának átmérője kb. 100um. A kapott képen nem fogunk tudni kisebb részleteket felfedezni, mint amekkora ennek a 100 um-neka minta felületén megfelelő része. A minta felületén lévő képpont mérete: d=100um/M, ahol az M a nagyítás.

A képet akkor látjuk élesnek ha az elektronnyaláb átmérője kisebb mint a képpont mérete.

* + - * 1. **Mélységélesség**

Egyeletlen felületű minta esetén a mintának azon része látszik élesnek amire az elektronnyaláb fókuszált, más részei viszont kevésbé élesek a nyaláb széttartása miatt. A kép ott válik életlenné ahol két vagy kettőnél több képpont méretűvé szélesedik. A mélységélesség a nyaláb széttartásával és a nagyítással változtatható.

* + - * 1. **Kontraszt**

Két képpont közötti kontrasztot a C=(S2-S1)/S2 képlettel definiálunk. Az S1,S2 az 1-es és 2-es pontban mért intenzitás.

* + - * 1. **Jel-zaj viszony**

Egyetlen képpont különböző időpontokban detektált jelei átlagértékük körül szórást mutatnak.

* + - * 1. **Felbontóképesség**

Pontfelbontás esetén két pont a Rayleigh kritérium alapján különíthető el, ami azt mondja ki, hogy két pont különálló, ha az áramsűrűség a két pont felezőjében a pontokban felvett maximális érték 75%-a. Ha egy élre merőlegesen pásztázunk, akkor pontfelbontás esetán a kép nem egy lépcső jelenik meg, hanem az él és az elektronnyaláb konvolúciója.

Definició szerint az élfelbontás az a távolság, amelynek két végpontját a intenzitáselsozlás 25% és 75% pontja jelöli ki.

* + - 1. **Jelfeldolgozás**
         1. **Differenciális erősítés**

Differenciális erősítés esetén a jelből kivonják az egyenáramú komponenst majd lineárisan erősítik. Kép zajossága is megnő mivel az is váltóáramú komponens.

* + - * 1. **Gammaszabályozás**

A gammaszabályozás egy nemlineáris erősítés, ahol a kimenő jel a következőképpen áll elő Ski=(Sbe)1/g. Kis intenzitású tartományban a gammát 1-nél nagyobbra választva növelhető a kontraszt, míg nagy intenzitású részeknél 1-nél kissebre választva a gammát tudjuk javítani a részleteket.

* + - * 1. **Jeldifferenciálás**

A jeldiferenciálás azt jelenti, hogy a U=U0\*sin(w\*t) jelet deriváljuk. Ebből azt az egyenletet kapjuk, hogy w\*U0\*sin(w\*t-pi/2), amiből látszik, hogy kaptunk felüláteresztő szűrőt aminek a határfrekvenciája w-nál van. Ez a w alatti, kis frekvenciájú jeleket elnyomja, a nagy frekvenciájúakat pedig felerősíti. Ez azt segíti elő, hogy a mintán előforduló éles határok, pl.: szemcsehatár, élek, kontúrok felerősödnek, míg a homogén részek eltűnnek.

A jeldifferenciálással kapott kép „lapos”-nak tűnhet.

* + - * 1. **Y-moduláció**

Az Y-modulációt akkor kapjuk, ha a detektorból kapott jelet visszavezetjük az y-irányú (függőleges) eltérítésre. Ennek előnye, hogy olyan kis kontrasztértékeket tudunk detektálni, amit fényességmoduláció esetén szemmel már nem lenne érzékelhető.

* + - 1. **Képmegmunkálás**

1. **LabVIEW**

A LabVIEW elnevezés a Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench szavakból jön, a National Instruments (továbbiakban csak, NI) által fejlesztett FPGA programozására alkalmas grafikus programozási felület. A LabVIEW-ban írt programokat Virtual Instruments-nek vagy csak röviden VI-nak hívják. Ez két fő részből áll, az egyik a front panel, a másik a blokk diagramm.

* + - 1. **Front panel**

A front panel lényegében a VI felhasználói/kezelő felülete. Erre a felületre sokféle visszajelző és mutató közül választhatunk, annak függvényében, hogy éppen mit akarunk kijelezni. Például: gráfok, LED-ek és egyéb visszajelzők, amik a blokk diagramm kimeneti adatait és változóit hivatottak megjeleníteni.

Emellett kontrol eszközöket is tudunk hozzáadni a felülethez. Például: nyomógombok, potméterek, csúszkák, ezek a virtuális eszköz bemeneti jeleit és irányító mechanizmusát kívánják szimulálni a blokk diagramm felé.

Ezek között böngészni a control palette nevű ablakban lehet.

* + - 1. **Blokk diagramm**

A blokk diagramm tartalmazza a G kódnak vagy blokk diagramm kódnak hívott grafikus forráskódot, ami azt mondja meg, hogy hogyan fusson le a VI. Ez egy grafikus reprezentációja azoknak a funkcióknak, amik vezérlik a front panelen lévő eszközöket. Ezeknek a kis icon-jai megjelennek a blokk diagrammon, ahol a vezetékkel összeköthetjük a kontrol és az indikátor eszközöket a funkciókkal.

Az adat a következőképpen megy a vezetékeken: a kontroll eszközökből a funkciót megvalósítókba és az indikátorokba, a funkciókból további funkciókba, illetve indikátorokba. A VI-ban található grafikus kód végrehajtódása sorrendje is e mentén fut le.

**Irodalomjegyzék**

[1] Pozsgai I.: A pásztázó elektronmikroszkóp és az elektronsugaras mikroanalízis alapjai