

Korszerű mikrolitográfiák

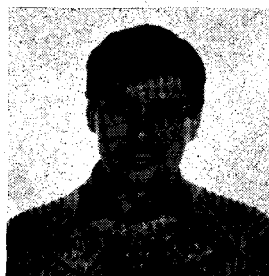
Dr. HÁMORI ANDRÁS – TÖRÖK PÉTER
KFKI MKI MTF

ÖSSZEFOGLALÁS

A litográfiával foglalkozó szakemberek az elmúlt évtizedben jelentős kutatásokat végeztek annak érdekében, hogy milyen eljárással lehetne mikronos illetve mikronnál finomabb elemi vonalszélességű félvezetőstruktúrákat létrehozni. Ennek érdekében kidolgozták az elektron-, lézer-, RTG- és ionsugaras litográfiákat. A cikk témája ezek egybevetése különféle szempontok szerint, kiemelve a lézersugaras litográfia megvalósításának egy új lehetőségét.

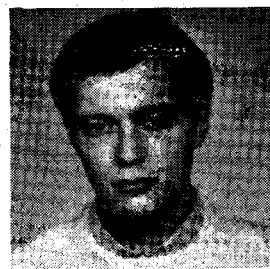
Bevezetés

A mikroelektronika gyors fejlődése egyre fokozódó követelményeket támaszt a mikrolitográfiai technológiákkal szemben. Az évtized elején úgy tűnt, hogy az optikai litográfiai módszerek elérték teljesítőképességük határát. A kifejlesztett berendezések (ábragenerátorok, léptetőkamerák, maszkillesztők) a klasszikus értelemben vett optikai felbontóképesség elvi korlátait érték el. A mikrolitográfiai eljárások a közelmúlt mikronos technológiáiban nagyrészt még a közeli UV levilágításon alapultak. Az 1980-as évek elején a mikroelektronikai technológiák elérték az addig "álomhatárnak" tartott mikronos illetve mikron alatti vonalszélesség kialakításának lehetőségét [25]-[31]. Az elemi vonalméreték csökkenésével a technológusoknak is meg kellett újítani maszkgyártási, szeletlitográfiai eljárásaikat. A világban több irányú útkeresés indult, de egységesen mindenki a látható fényénél kisebb hullámhosszok felé fordult, mivel a hullámoptika törvényeiből az következik, hogy az elérhető legjobb optikai felbontás összemérhető a levilágító sugárforrás hullámhosszával. A kutatóhelyeken a nem optikai elven működő litográfiai módszerek kifejlesztését kezdték meg. Intenzív kutatások indultak a röntgen-, az ion- valamint az elektronlitográfia területén. A legfejlettebb technológiát alkalmazó gyártóknál ma már ilyen elveken működő litográfiai berendezéseket alkalmaznak a mikronos ill. szubmikronos mérettartományban [13], [21], [24], [25], [27], [28], [29]. A berendezések elterjedése a tömeggyártásban azonban igen lassú. Ennek oka egyrészt a készülékek igen magas beruházási költsége, másrészt a megszokottól eltérő anyagok és körülmények alkalmazásának szükségessége, valamint technológiai szempontból vett szennyezőkészségük (röntgen-, ion-, elektronreziszt, ultravákuum-munkakamrák stb.).



Dr. HÁMORI ANDRÁS

Az Eötvös Lóránd Tudományegyetemen szereztem fizikai diplomát 1973-ban. Doktori disszertációm 1976-ban védtem meg holografikus korreláció optikai adatfeldolgozásban való alkalmazása témakörben. Jelenleg a KFKI MKI MTF-án a lézerek mikroelektronikai technológiai alkalmazásának kutatásával foglalkozom.



TÖRÖK PÉTER

A Budapesti Műszaki Egyetemen szereztem villamosmérnöki diplomát 1989-ben. Jelenleg a KFKI MKI MTF-án doktori ösztöndíjas vagyok. Doktori témám a pásztázó lézer mikroelektronikában való használatának kutatása.

A fejlesztés fő irányai

Kezdetben úgy tűnt, hogy a deep UV tartományban működő hagyományos litográfiai berendezések megoldják problémáinkat. A feladat kettős volt: egyrészt az ábragenerátorok, másrészt a maszkillesztők körében kellett fejlesztéseket végezni.

Mindkét esetben azonban a törekvés a sebesség növelésére és ezzel párhuzamosan a jobb felbontás elérésére irányult.

Az ábragenerátor esetében elsősorban a hosszú expozíciós idő (néhány óra) kényszerítette ki a változtatást. A hosszú exponálási folyamat két részből is igen hátrányos: egyfelől a technológia költségeit jelentősen emeli, másfelől viszont már gyakorlati és néha leküzdhetetlen akadályt jelent az ábragenerátor rezgésmentesítése és hőmérsékleti stabilizálása, azaz hibamentes működtetése a kellő időre.

Ezek alapján az ábragenerátornál tehát az exponálási idő (legalább egy nagyságrenddel való) és az elemi vonalméret csökkentésére törekedtek.

A probléma alapvetően nem más a maszkillesztők esetében sem, mint az ábragenerátornál. A megfontolások középpontjában ez esetben mindenképp annak kell állni, hogy itt már a szelet felületére dolgozunk. Ennek megfelelően kell megválasztani a levilágító sugárforrás hullámhosszát is. Az exponálás során mindenképp biztosítani kell a megvilágító nyaláb párhuzamosságát, hiszen ennek hiányában romlanak a leképezési tulajdonságok (projekciós rendszerek), illetve nagy lehet az árnyékképződés a maszk és a reziszt között (proximity eljárás). A kérdés csupán az, hogy a nyaláb kollimálása meddig végezhető egyszerűen, és mi az a határ, amikor a kon-

vencionális úton már nem érhető el eredmény. A gyakorlat azt mutatja, hogy a hagyományos optikai elemekkel nyalábformálás az UV tartomány felső széléig végezhető (400 nm-es hullámhossz). Ezt követően már speciális UV optikai elemek szükségesek. A hullámhossz további csökkentése révén eljuthatunk az X sugárzás tartományába (1.4 nm), ahol a kollimálás már nem triviális feladat, ugyanis erre két eljárás ismert, melyek közül egyik sem túl kényelmes. Egyrészt lehet úgy párhuzamosítani a sugárnyalábot, hogy a sugárforrástól kellő távolságban elhelyezünk egy kollimátor rést. Az ebből kilépő nyaláb jó közelítéssel párhuzamos lesz. Másik út az, hogy az X sugarak megfelelő interferenciájával a kapott kép egy része lesz kollimált.

A RTG sugaras levilágítás - úgy tűnik - egyre nagyobb teret nyer a szubmikronos technológiában [23], [26], [30].

Napjaink trendjét ismét az "optikai" módszerek előretörése jellemzi. Ez elsősorban a lézerek mikrolitográfiai alkalmazásának köszönhető. A lézeres berendezések teljesítőképessége azonos vagy jobb mint a nem optikai litográfiai készülékeké, ugyanakkor nem igénylik különleges anyagok vagy körülmények alkalmazását. Áruk lényegesen alacsonyabb, mint a röntgen-, ion-, vagy az elektronlitográfiai berendezéseké.

Lézerek litográfiai alkalmazása

A lézerlitográfiai technológiai berendezések közül a lézeres ábragenerátor tekinthető a legkiforrottabbnak. Az 1987-es évben kerültek piacra az első tényleg versenyképes lézeres ábragenerátorok. A lézeres ábragenerátor működési elve lényegesen eltér a "klasszikus" optikai ábragenerátorokétól. Ezekben változtatható méretű blendék segítségével kialakított elemi téglalapok leképezésével és egymás mellé exponálásával alakítják ki a maszk rajzolatát a hordozó felületén lévő krómrétegre felvitt fotorezisztben. Az egymás mellé exponálást a hordozó kellő pontosságú léptetésével valósítják meg. A készülék fényforrása rendszerint nagynyomású higanylámpa. Az exponálást a reziszt hívása valamint a krómréteg marása követi. A lézeres ábragenerátorban szintén fotoreziszt exponálása történik, az exponálást azonban mozgó, fókuszált és modulált lézernyaláb végzi. A lézernyaláb a kialakítandó ábra teljes felületét végig pásztázza folyamatos mozgással. Az exponálás a nyaláb kellően gyors ki- és bekapcsolása segítségével történik (modulálás). Tekintettel arra, hogy a fókuszált lézernyaláb teljesítmény sűrűsége igen nagy, az elemi exponációs idők a mikrosec tartományba esnek. Ezért nincs szükség mozgásoknak az exponálás idejére történő megállítására (flash-on-fly üzemmód). A teljes felület pásztázása nem történhet tisztán optikai (deflektálás) vagy tisztán mechanikai (asztalmozgatás)

úton. Az optimális megoldást a kettő kombinációja adja.

A lézersugárnak, mint exponáló nyalábnak az alkalmazása kedvező paraméterek mellett oldható meg. Ez azért lehet így, mert a lézersugár olyan fénysugár, mely igen kis széttartással (divergenciával) valamint egyszínűséggel (monokromatikusság) rendelkezik, és többek között ezek miatt igen jól fókuszálható. Kis fókuszfoltra vonatkoztatva viszont az intenzitásúrsűrűség már jelentős lehet. Mindenképpen figyelemmel kell lenni az exponáló lézer hullámhosszának kiválasztására, hiszen elsődleges cél lehet az is, hogy ne kelljen spektrális érzékenységekben új rezisztet alkalmazni. Ennek megfelelően célszerűnek látszik tehát olyan lézerek választása, melyek az ibolyán (He-Cd - 441.6 nm, Ar⁺ - 488 nm) [8], [14], [7] illetve azon túli hullámhossztartományban (excimer lézerek, He-Cd - 325 nm, Ar⁺ - 363.8 nm) [3], [5] sugároznak, folytonos (CW) illetve impulzus üzemmódban. Az exponációs idő az exponálási stratégia megfelelő megválasztásával lényegesen csökkenthető.

Ez után csupán egy megválaszolásra váró kérdés marad: el kell dönteni, hogy az adott maszk reticle [8] (5x-ös vagy 10x-es) ábra-e vagy pedig 1x-es méretű [14]. Az irodalmak alapján mindkettő fellelhető a világ nagy mikroelektronikai gyáraiban. A reticle típusú ábránál elegendő a mikronos illetve a néhány mikronos pontosság, míg 1x-es méretűeknél (természetesen feltételezve azt, hogy végeredményben szubmikronos struktúra generálása a cél) a pontosság minimum néhány száz nanométer. Világosan látszik, hogy az egyszeres (direkt) maszkok létrehozása során lényegesen szigorúbb követelményeket kell kielégíteni, mint a reticle maszk esetén.

Fontos e helyütt rögzíteni azt, hogy mindeddig olyan folyamatról volt szó, mely során leképezzük a maszk ábrát a fényérzékeny felületre, valamely sugárforrás segítségével. Ebben az esetben tehát a maszk és a maszkhoz kapcsolódó egyéb technológiák megmaradnak a gyártási műveletek között. Ha azonban kihagyjuk a maszkot a technológiai sorból, felvetődik a kérdés, hogy miként tudjuk a megfelelő ábraszorozatot meggenerálni a félvezetőszelvény felületén.

Ezen a gondolatsoron haladva a nemzetközi kutatás-fejlesztés az 1980-as évek elejére két, technológiailag egymással ellentétes irányú elképzelés létjogosultságát mutatta meg: az egyik a lézeres direkt exponálás (Direct Exposure), a másik az lézerrel lokalizált kémiai folyamatok (pl.: LACVD - Laser Assisted Chemical Vapour Deposition - Lézerrel segített kémiai gőzfázisú leválasztás).

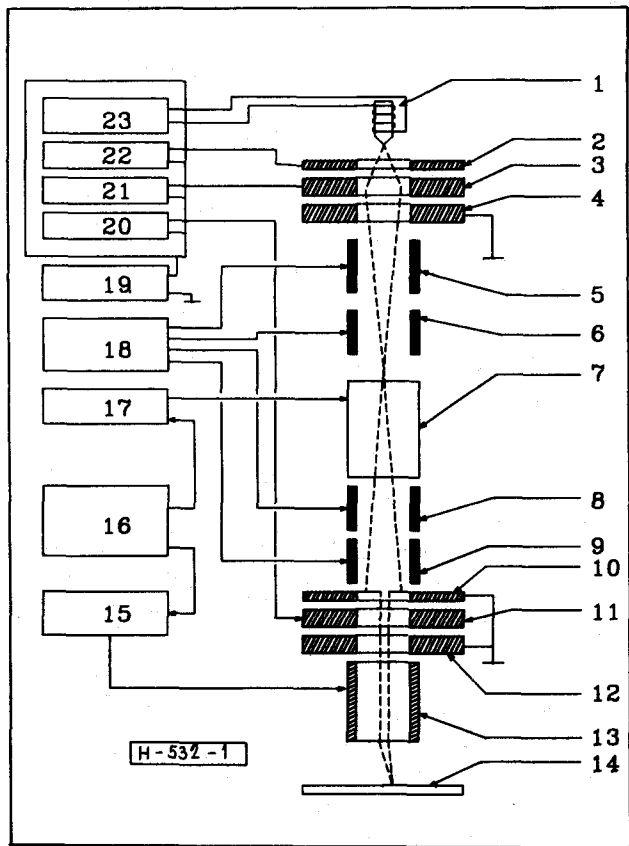
Az első eljárás [1]-[12], [14], [17]-[20], [22] előnye, hogy mindazok a technológiai lépések, melyek a konvencionális maszkleképzésnél illetve -vetítésnél eddig kényszerből megtűrt rossz tulajdonságok voltak (porleszorítás, árnyékképződés, stb.), illetve a plusz technológiai lépésekből fakadó többletköltség, elhagyhatók illetve megtakaríthatók. Hátránya, hogy a

felületre felvitt rezisztanyag ugyanúgy szennyezi a félvezetőszelét felületét, mint a hagyományos eljárás, valamint a korlátozott felbontóképeség.

Az LACVD [1], [28] előnye, hogy rezisztanyag jelenléte nélkül, a lézersugár által az adott helyre összpontosított fényenergia segítségével a gáztérben jelen lévő szerves, fémvegyületeket tartalmazó gázokból képes a megfelelő helyre (a sugár pozicionálási pontosságától függően) pl. W, Mo, stb-t leválasztani. Hátránya (a jelenlegi fejlesztések alapján) [32] az, hogy kevésbé tisztázottak a mikroszkópikus fény-gázanyag kölcsönhatások, s így még jelentős kutatómunka kell a legelemibb paraméterek biztos kontrollálására, valamint az is, hogy a reakcióterben jelenlévő gázokból jelenleg csak fémeket tudnak leválasztani, s egyéb anyagokat (SiO₂, monolit fém Si, stb.) nem.

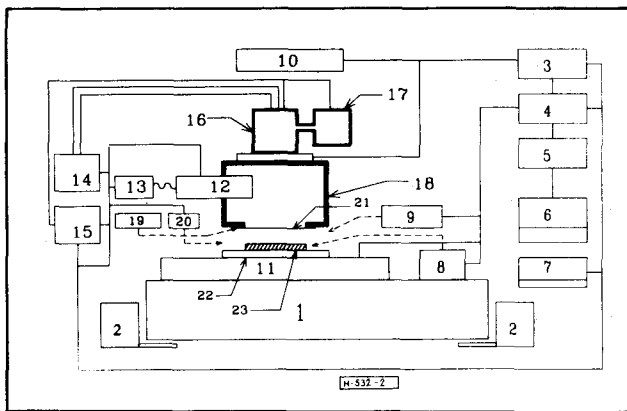
Az 1. ábrán bemutatjuk egy elektronsugaras litográf elvi felépítését. A 2. ábra egy X-sugaras, a 3. ábra pedig egy lézersugaras direktexponáló berendezést mutat.

Ezen mikrolitográfiai berendezések gyakorlati megvalósítása szükségessé teszi a felbontást, illetve a pozicionálást befolyásoló tényezők részletesebb vizsgálatát.



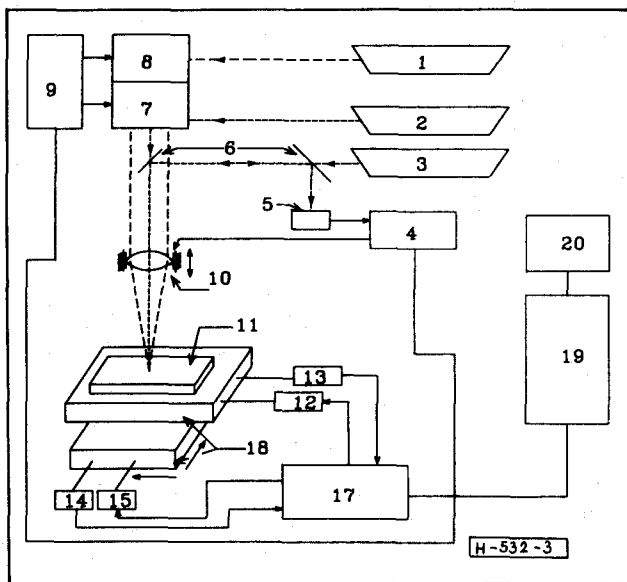
1. ábra. Elektronsugaras litográfiai berendezés blokkvázlata

- Elektronágyú; 2. Emisszió szabályzó elektróda; 3. Fókuszáló elektróda; 4. Gyorsító elektróda; 5. Sztigmátor oktopólus; 6. Beállításához szükséges lemezek; 7. Nyalábkilőtő egység; 8. Beállításához szükséges lemezek; 9. Sztigmátor oktopólus; 10. Apertura; 11. Nyalábformáló elektród-lencse; 12. Nyalábformáló elektród-lencse; 13. Nyalábeltérítő lemezek; 14. Target; 15. Eltérítőerősítő; 16. Mikroprocesszoros vezérlő; 17. Kioltást vezérlő egység; 18. Beállító- és sztigmátor lemez-meghajtó; 19. 0-100 kV-os tápegység; 20. 0-30 kV-os tápegység; 21. 0-30 kV-os tápegység; 22. 0-10 kV-os tápegység; 23. Fűtőtápegység;



2. ábra. RTG sugaras maszkillesztő blokkvázlata

- Rezgésmentes asztal; 2. Regzésmentesítő gázdugattyúk; 3. Biztonsági elektronika; 4. Interface elektronika; 5. Mikroprocesszoros vezérlés; 6. Display/Keyboard; 7. Ellenőrzőegység; 8. Szelettőtű; 9. Maszkpozicionáló (X,Y,θ); 10. Állandó hőmérsékletű léghűtő; 11. 6 szabadságfokú szelettartó; 12. Beállító rendszer; 13. Kamera; 14. Nagy nyomású víz tápegysége; 15. Nagyfeszültségű tápegység; 16. RTG cső; 17. Ultrahagyvakuum szivattyú; 18. Munkakamra; 19. Maszkfűtő; 20. Hőzagemérő; 21. Maszk; 22. Szelettörgőtű; 23. Szelet



3. ábra. Lézersugaras direktexponáló készülék blokkvázlata

- Exponáló lézer; 2. SLM segédlézere; 3. Autofókusz egység segédlézere; 4. Autofókusz egység elektronika; 5. Detektor; 6. Nyalábosztó; 7. Akusztó-optikus deflektor; 8. Akusztó-optikus modulátor; 9. Deflektor- és modulátor-vezérlő elektronika; 10. Állítható fókuszáló objektív; 11. Szelet; 12. X irányú mozgásvezérlő motor; 13. X irányú pozíciódetektor; 14. Y irányú pozíciódetektor; 15. Y irányú mozgásvezérlő motor; 17. Mozgásvezérlő interface; 18. X-Y asztal; 19. Számítógép; 20. Display/perifériák

A felbontást befolyásoló tényezők vizsgálata

A továbbiakban az X-sugaras maszkillesztőt nem tárgyaljuk, mivel célunk az, hogy két olyan eljárást (elektronsugaras és lézersugaras direktexponáló) hasonlítsunk össze bizonyos szempontok szerint, mely nem a hagyományos értelemben vett maszkillesztő. Ennek megfelelően a DSW (Direct Stepping on the Wafer) mintájára a DGW (Direct Generation on the Wafer) elnevezést látjuk célszerűnek bevezetni.

A felbontás direktexponálásnál a legszorosabb összefüggésben az írósgugár átmérőjével van. Ez az

átmérő függ az alkalmazott sugár hullámhosszától, valamint annak anyagi természetétől (elektromágneses hullám, elektronnyaláb, stb.). Ezekből a következtetés hasonló, mint a maszk leképzésnél: a levilágító sugár hullámhosszát minél kisebbre kell választani. Ekkor azonban újra beleütközünk egy korlátba, nevezetesen abba, hogy a RTG sugarak valamint az ennél rövidebb hullámhosszúság esetén nem tudjuk megfelelő mértékben kézben tartani a legegyszerűbb paramétereket sem (pl.: fókuszáltság). Újabban folynak ugyan kutatások RTG-optikai elemek kifejlesztésére, de ezek erősen a kezdeti szakaszban tartanak.

Legjobb felbontás ezek szerint a konvencionális elemekkel (ezalatt egyaránt érthető a normál optikai elemkészlet és az elektronoptika, mivel mindkettőt régóta, széles körben alkalmazzák) az elektronsugár esetén érhető el. Az elektronoptikának is megvannak a maga tökéletlenségei, de például egy elektronsugár eltérítése (deflektálása) lényegesen egyszerűbb és jobban kontrollálható, mint a fényé, mely elektromos térre érzéketlen, nem úgy, mint az elektronsugár. Az elektronnyaláb energiája a gyorsítófeszültséggel könnyen és gyorsan befolyásolható.

Az elektronsugaras litográfiának azonban egyetlen olyan hátránya van, mely visszaszorítja ezt az eljárást a laboratóriumokba és az egészen nagy félvezetőgyártók közparkjába. Ez pedig a költségessége. A magas költség onnan fakad, hogy - mint tudjuk - az elektronsugaras litográfia ultra nagy vákuumot igényel. Ha ezt a körülményt nem biztosítjuk, előfordulhat, hogy a litográfia inkább használható adalékolásra, mint eredeti funkciójára. A nem megfelelő vákuumban elsőként drasztikusan lecsökken az elektronok átlagos szabad úthossza, mely felesleges energiabefektetést igényel, vagy éppen lehetetlenné teszi a helyes működést. Másodízben pedig a légritka térben bizonyos gázatomok (molekulák) is találhatóak, melyek az elektronokkal ütközve, majd annak energiáját átvéve becsapódhatnak a félvezetőszelvénybe, ahova káros szennyeződésként beépülve hibákat okoznak (implantáció jellegű hatás). Az is a költségesség mellett szól, hogy ultra nagy vákuumot csak korlátozott térfogatban lehet előállítani. Ekkor azonban a leszívás - levegőzés időigényességét figyelembe véve, nem igazán termelékeny berendezést kapunk.

Ezek alapján - úgy látszik - az elektronsugaras litográfia megmarad a kísérleti laborok olyan technológiájának, mely kis szériák esetén igen jó eredményekkel szolgálhat (pl. az IBM cég 40 nm-es minimális csíkszélességű MOS tranzisztora [21]).

A sorban ezek után már a deep UV tartományban működő lézerek valamelyike következik. Nagy fantázia jelenleg az exeimer lézerekben van. Ezeknek a lézereknek a hullámhossztartománya közelítően a 200 nm-től (ArF 193 nm) 350 nm-ig (XeF 351 nm) [32] terjed. Elméletileg tehát a szubmikronos technológiában jól alkalmazhatóak, azonban nehezen megoldható a fény-

defiektálás, valamint speciális optikai elemigény lép fel ilyen hullámhosszokon.

A felbontás az optikai foltméret mellett még egy sor más paramétértől is függ. Jelentősége folytán azonban külön említést érdemel az a finommechanikai, elektro-optikai környezet, mely az író-sugár-írott felület relatív elmozdulását biztosítja. Kísérletek alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy mindenképpen mechanikai surlódásmentes mozgatóelemet kell választani. Erre több lehetőség kínálkozik (piezokerámia, légpárnás asztal, deformációs kinematika elvén működő mechanikus elem, lineáris motor). A fénysugár eltérítése csak igen kis (néhány száz tíz milliradiános) elemi szögben lehetséges akusztó-optikus elven működő elemmel (akusztó-optikus deflektor), mely elem igen pontos és gyors. Más elven működő deflektorok képesek ugyan nagyobb szögben nyitni, de erősen korlátozott sebességük (néhány kHz) és pontatlanságuk miatt nem megfelelőek.

Mint korábban említettük, az exponálás raster scan formátumban történik. (A felületet soronként végigpásztazzák, hasonló módon, mint a televízió képernyője esetén ismert.)

Az optimális foltméret megtartása alapkérdés. Erre a célra állnak rendelkezésre az automatikus fókuszáló berendezések - az autofókuszok.

A felbontást az optikai rendszer mellett a félvezetőre felvitt fényérzékeny réteg is jelentősen befolyásolja. A feltétel kettős, de szervesen illeszkednek egymáshoz: vagy az exponáló nyaláb intenzitását kell a reziszt érzékenységéhez illeszteni, vagy a reziszt megválasztásakor kell figyelemmel lenni a lézertény intenzitására. Túl érzéketlen reziszt vagy rosszul megválasztott intenzitás esetén a felbontás akár félegy nagyságrenddel is elromolhat.

A pozicionálás kérdése

Az eddigi gondolatmenet egy igen lényeges alappontra még nem világított rá. Ha a direkt exponálás eljárást gyártósorban, üzemszerűen szeretnénk használni, több önálló réteget kell tudni igen pontosan a félvezetőszelvény felületére felexponálni.

A pozicionálás tehát igen fontos, olyannyira, hogy mikronos vonalszélességnél a mikronos pozicionálási hiba már nem megengedhető. Nem hoz kielégítő megoldást az sem, hogy a szeletet tartó asztal pozícióvisszajelzéséről gondoskodunk valamilyen formában, hiszen az asztalon a szeletet nem lehet tökéletes pontossággal illeszteni. A szelet nem rendelkezik a flat-en kívül semmi pozicionáló elemmel. A fiat önmagában nem lehet elég az illesztésre. Tehát ezekből következően vagy a szelet formáját kellene valamilyen módon változtatni (mely út gyakorlati okokból nem járható), vagy más megoldást kell választani.

Lehetőség van azonban az előbbi kettősséget feloldani, mégpedig úgy, hogy az első exponálás után az exponálófejet ellenkező irányba működtetve, pásztázó lézermikroszkóp üzemmódba (SLM - Scanning Laser Microscope) kapcsoljuk, s így feltérképezve a szelet felületét, be lehet tárolni azt egy számítógép memóriájába, ahol már benne lévő ábrával össze lehet hasonlítani. Az így kapott adatok alkalmasak lehetnek arra, hogy a levilágítófejet a megfelelő pozícióra állítsák. Ez a megoldás látható a 3. ábrán [33].

A pásztázó fénymikroszkóp alapelve az, hogy egy aktív forrásból (jelen esetben az valamilyen típusú lézer) kilépő fényt egy fókuszáló lencsén át az adott céltárgy felületére fókuszálják. A visszavert nyalábot a sugármenetből egy alkalmas helyen kicsatolják, majd egy detektorba vezetik. A lézersugár pontos helyének ismeretében fel lehet venni egy hely-intenzitás függvényt, mely nem más, mint az adott anyag felületének mikrofényképe. A detektor fényintenzitással arányos áramjele bemenetként szolgálhat egy erre alkalmas számítógépes rendszernek, ami azután a kiértékelést elvégezheti.

A lézermikroszkóppal kombinált rendszernél lényeges szempont a lézermikroszkóp fényforrásának típusa. Az általában alkalmazott rezisztek spektrális érzékenységre figyelemmel a 600 nm környéki hullámhosszon működő lézer alkalmazható erre a célra (pl.: 632.8 nm He-Ne lézer).

Összefoglalás

A fentiekben áttekintettük a századvég litográfiai eljárásait megvalósíthatóság, felbontás, költségességi szempontok szerint. Nem azt kívántuk hangsúlyozni, hogy a lézersugaras direkt exponálás a litográfia egyetlen lehetséges járható útja, csupán azt, hogy bizonyos paraméterek mellett igen jó, mikron környéki elemi vonalméret érhető el e technológiával.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki dr. Kormány Teréz egyetemi docensnek értékes segítségével, pontosító észrevételeiért.

IRODALOM

- [1] J. Lyman: Optical Lithography Refuses to Die, Electronics, vol. 58(40), p. 36, oct. 7. 1985.
- [2] J.A. Schoeffel, W.G. Oldham: Get Submicron Resolution with Optical Lithography, Research & Development, vol. 29(1), p. 92, Jan. 1985.
- [3] V. Pol: High Resolution Optical Lithography: A Deep Ultraviolet Laser-Based Wafer Stepper, Solid State Technology, vol. 30(1), p. 71, Jan. 1987.

- [4] S. Derra: Researchers "paint" Electronic Circuits with Laser Process, Industrial Research & Development, p. 81, Sept. 1983.
- [5] D.J. Erlich, J.Y. Tsao, C.O. Bozler: Submicron Patterning by Projected Excimer-Laser-Beam Induced Chemistry, J. Vac. Sci. Tech., vol. B3, p. 1. (1985)
- [6] J.A. Schoeffel, M.L. Rieger: Economics of Fast-Turn Wafer Production, VLSI Systems Design, vol. VIII (2), p. 22, Feb. 1987.
- [7] J.C. McMenamin: A High Speed High Accuracy Lithographic Application of Argon Ion Lasers, Proc. SPIE Conf. Optoelectronics & Laser Appl. in Sci. & Engrg., vol. 737, Jan. 13-14 1987.
- [8] D.B. McDonald, M. Nagler, C. VanPerski: 160 Mpx/sec Laser Pattern Generator for Mask and Reticle Production, Proc. SPIE, vol. 470, p. 212 (1984)
- [9] Tasch, Jr., A.F.: Metal Oxide Semiconductor Technology Scaling Issues and Their Relation to Submicron Lithography, Optical Engineering Pg. 176, vol. 22, No. 2, 1983.
- [10] Stover, H.L., Nagler, M. and Bol, I.: Submicron Optical Lithography; Lenses and Photoresist Technology, SPIE Proceedings on Microlithography, Santa Clara, March 1984.
- [11] J.C. McMenamin: Laser Technology in Photolithography, Solid State Technology, p. 59, August 1987.
- [12] Weber, E.V.: Shaped Beams for Integrated Circuit Fabrication, Optical Engineering Pg. 190, Vol. 22, No. 2, 1983.
- [13] Edison, J.C., Maase, W.C. and Scudder, R.K.: A Precision High-Speed Electron Beam Lithography System, Hewlett-Packard Journal, Pg. 3, May 1981.
- [14] Westerberg, G.: LASERSCAN, a Fast System for Generating Micromasks in Scale 1:1, Micronic AB-Stockholm (local publication), May 20. 1977.
- [16] Poole, K.: The primary Pattern Generator, BSTJ vol. 49, Nov. 1970, No. 9, p. 2031-2075
- [17] Maydan, D.: Micromaching and Image Recording on Thin Films by Laser Beams, BSTJ July-Aug. 1971, p. 1761-1789
- [18] Marcy, R.: Electro-Optical Tracing Systems, Particularly for Use with Laser Beams, United States Patent, No. 3,632,205, Jan. 4, 1972.
- [19] Whitney, T.R.: Laser Pattern Generating System, United States Patent, No. 4,541,712, Sep. 17, 1985.
- [20] Marcy, R.: System for Writing Patterns on Photosensitive Substrates, United States Patent, No. 3,797,935, Mar. 19, 1974.
- [21] Nanostructure Technology, IBM Journal of Research and Development, p. 24, Oct. 1.
- [22] Laser Beams Speed Up Reticle Writing, Electronics, vol. 58(40), p. 40, Oct. 7, 1985.
- [23] Fuls, E.N.: X-ray lithography applied to the

- fabrication of one micrometer n-channel metal oxide semiconductor circuits, *Optical Engineering*, vol. 22(2), p. 199, 1983.
- [24] *Slayman, C.W., Bartelt, J.L., McKenna, C.M., Chen, J.Y.*: Masked ion beam lithography for submicrometer device fabrication, *Optical Engineering*, vol. 22(2), p. 208, 1983.
- [25] *Weber, E.V.*: Electron beam systems at IBM: status report, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [26] *Novak, W.T.*: A lithography system for X-ray process development, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [27] *Cleaver, J.R.A., Heard, P.J., Ahmed, H.*: Scanning ion beam lithography for submicron structure fabrication, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [28] *Gamo, K., Namba, S.*: Maskless fabrication using focused ion beams, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [29] *Buiguez, F., Parrens, P., Picard, B.*: Submicron electron beam and optical lithography using a trilevel resist scheme, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [30] *Lazzari, J.P., Parrens, P.*: Optic and X-ray lithographies in 1990's, *Electron-Beam, X-ray, and Ion-Beam Techniques for Submicron Lithographies II. Proc. SPIE* vol. 393
- [31] *Polasko, K.J., Yau, Y.W., Pease, R.F.W.*: Low energy electron beam lithography, *Optical Engineering* vol. 22(2), p. 195, 1983.
- [32] *Bauerle, D.*: *Chemical Processing with Lasers*, Springer-Verlag, Berlin 1986.
- [33] *Török, P.*: *Diplomaterv feladat*, BME Villamosmérnöki Kar EET, 1989.
-