

Chapter 6

Magyar Nyelvű Összefoglaló

Tudományos előzmények

Az integrált áramkörök, vagy más néven chip-ek, az ember által létrehozott legkomplicáltabb szerkezetek. E háromdimenziós struktúrákat egy többlépcsős gyártási folyamat során hozzák létre. Minden lépést – a kezdeti tervezéstől a végső csomagolásig – hibátlanul kell elvégezni ahhoz, hogy az áramkör optimálisan működjön. Ebben a folyamatban kulcsszerepe van az optikai mikrolitografiának, amely során a maszkon lévő mintázatot egy steppernek nevezett optikai leképező rendszer segítségével fotoérzékeny rezisztbe exponálják. Az elérhető feloldást (CD) a rendszer és a folyamat paraméterei határozzák meg. Két tradicionális módszer létezik a feloldás javítására. Az első, a használt fény hullámhosszának csökkentése, a második a leképező lencse numerikus apertúrájának növelése. Sajnálatos módon azonban mindkét eljárás a kép mélységélességének jelentős csökkenéséhez vezet, ami korlátozó tényező a felhasználás szempontjából. Az elmúlt időszakban több módszert ill. eljárást javasoltak a feloldás és a mélységélesség egyidejű növelésére.

Vizsgálati módszerek

E dolgozatban öt – a koherens többszörös leképezés elvén alapuló – módszert vizsgáltam meg részletesen, amelyek képesek egyidejűleg növelni a feloldást és a mélységélességet. A kísérleti munka során fontos szempont volt, hogy a rendszer optikai paraméterei (numerikus apertúra, nagyítás stb.) a lehető legjobban megközelítsék az iparban használt stepperek paramétereit. Az elsődleges cél a módszerek hatékonyságának tesztelése volt. Az esetek döntő részében a leképező lencse által létrehozott képet (amit egy CCD kamerával rögzítettem) vizsgáltam meg és értékeltem ki. Két esetben (interferometrikus fázistolás, ill. annuláris apertúra használata esetén) azonban a képet sikerült fényérzékeny

rezisztbe exponálni és előhívni. Fényforrásként lézert (He-Ne, He-Cd, Ar-ion) használtam. A tesztelés során egyszerű mintázatok (on-axis lyuk, kiterjedt lyukmintázatok, vonal-struktúrák) képeztem le.

A kísérleti munkával párhuzamosan számításokat ill. szimulációkat végeztem mikrolitográfias szoftverek (Prolith/2 ill. Solid-C) segítségével. A kísérleti és elméleti eredmények összehasonlító kiértékelését adtam.

Tudományos eredmények

1. Interferometrikus fázistolást kombináltam off-axis kivilágítással. Mind a kísérleti, mind az elméleti eredmények azt bizonyítják, hogy a javasolt kombinációs technika vonal-struktúrák esetén képes 30%-kal növelni a feloldást. A két különböző intenzitású (zéró ill. első) rend miatt bekövetkező kontrasztsökkenést sikerült kiküszöbölni a refraktált és transzmittált nyalábok amplitúdójának és fázisának helyes beállításával:

Amplitúdó feltétel: *A transzmittált nyaláb intenzitásmaximuma egyezzen meg a refraktált nyaláb intenzitásminimumával.*

Fázis feltétel: *A transzmittált és a refraktált nyalábok között π fázistolásnak kell lennie, azaz az általuk létrehozott képek ellenkező fázisban vannak.*

Ezen két feltétel teljesülése esetén a keletkező kép kontrasztja elérheti a 100%-ot.

2. Annuláris apertúrát használva 52%-kal javítottam a feloldást egy on-axis kontakt lyuk esetén.
3. Egy on-axis kontakt-lyuk esetén hullámoptikai közelítésben kiszámítottam egy bevont objektív által létrehozott háromdimenziós képet. Az optimális obstruction ratio (bevont terület sugara/apertúra sugara) $\epsilon=0.3$ -nak adódott. A skalár hullámoptikai közelítésen kívül mikrolitográfias szimulációt is végeztem (Solid-C) lyuk-mintázatokra. Megmutattam, hogy megfelelő bevont objektívet használva a mélységelesség 1.5-2-szeresére növelhető. Másrészt a fókusz-expozíció folyamat-ablak mérete jelentősen megnövelhető, még a rendszer feloldásánál kisebb lyukak leképezése esetén is.
4. Egy on-axis kontakt-lyuk esetén kiszámítottam a leképező lencse által létrehozott háromdimenziós képet, akkor, amikor a lencse mögött egy kettősen törő lemez volt. A lemez különböző mértékben tolta el az ordinárius és az extraordinárius sugarakat. A két kép közötti távolságot a lemez vastagságának és anyagának

megválasztásával lehetett szabályozni. Mivel egy vastag lemez nemkívánatos optikai aberrációkat okoz, vékony de erősen kettősen törő lemez alkalmazása előnyösebb, mint egy vastag, de kevésbé kettősen törő lemez.

5. Egy Fabry-Perot etalon alkalmazásán alapuló új többszörös koherens leképezési technikát demonstráltam. Az egyes képek közötti távolság, fázis ill. amplitúdó, az etalon tükreinek távolságával ill. reflexiójával változtatható volt. Egy on-axis pontszerű fényforrást alkalmazva a mélységélességet 4-szeresére, a feloldást 1.6-od részére sikerült javítani.
6. Megmutattam, hogy egy Fabry-Perot etalon felfogható úgy, mint egy térbeli szűrő, amely egyes Fourier komponenseket átenged, másokat pedig kiszűr. Ezen analógia segítségével az előző pontban javasolt technika szimulációja vált lehetségessé.
7. Az optikai rendszer átviteli függvényét kiszámítottam ($Prolith/2$) és összehasonlítottam a kísérleti eredményekkel.
8. Az optikai rendszer térbeli koherenciáját optimalizáltam kiterjedt lyuk mintázatok esetén. A térbeli koherencia optimális értékét $\sigma=0.28$ -nak találtam.
9. Kiterjedt mintázatok (off-set lyukak és vonal-struktúrák) képeinek részletes kísérleti és elméleti kiértékelését adtam meg. Megvizsgáltam a rendszer fényvesztését, periódus-érzékenységét ill. a megnövekedett intenzitású mellékmaximumok okozta nemkívánatos interferenciákat, és javaslatot adtam ezen hatások minimalizálására.