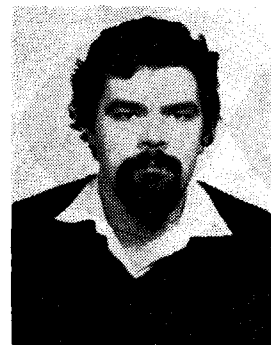


# Az integrált áramköri fotomaszkok automatikus vizuális ellenőrzése

FAZEKAS ZOLTÁN

MTA Központi Fizikai Kutató Intézet



## ÖSSZEFOGLALÁS

E cikk röviden tárgyalja az automatikus vizuális ellenőrzés ipari alkalmazásának általános kérdéseit. Ismerteti az integrált áramkörök gyártásánál használt fotomaszkok automatikus vizuális ellenőrzésének gazdasági, műszaki hátterét, s az ellenőrzés különböző módszereit. Bemutat egy jellemző rendszert. (A)

## 1. Bevezető gondolatok

Az ipari termékek különféle ellenőrzési fázisai a gyártási folyamatoknak igen lényeges, mind gazdaságilag, mind technológiailag kritikus állomásai. Az ellenőrzés a munkafolyamatot végigkíséri, a különböző készütségi fokokon költsége más és más. Annak érdekében, hogy a termékek hibáit minél kisebb ráfordítással feltárhassuk, esetleg kijavíthassuk, az ellenőrzés menetét, módszereit, akár csak a gyártás egyéb fázisait gondosan meg kell tervezni.

Az ellenőrzés egyik leggyakoribb és nyugodtan állíthatjuk, legősibb módjának automatizálásáról lesz a továbbiakban szó.

## 2. Vizuális ellenőrzés géppel

A vizuális ellenőrzésen egészen napjainkig azt a műveletet értettük, hogy a szakember előzetes ismeretei, tapasztalatai és a termék „szemmel látható”<sup>\*</sup> tulajdonságainak összevetésével dönt a termék osztályba sorolásáról (pl. jó, javítható, selejt).

Az utóbbi években a fejlett elektronikai technológiával rendelkező országokban számos vizuális ellenőrző rendszer készült. Nem egy közülük jól bevált a termelésben.

A gépi „meósok” akkor váltak emberi „kollégáik” tényleges konkurenseivé, amikor az alábbi feltételek egyszerre teljesültek:

<sup>\*</sup> Ismeretes, hogy a látás igen bonyolult folyamat. (Fizikai és képfeldolgozással kapcsolatos vonatkozásairól lásd [1] könyvet.) A látás korántsem korlátozódik a szemre, sőt jelentős fázisait nem a szem, hanem az agy végzi. Az agy feladata a „látottak” értelmezése, felismerése. A szem részben optikai, részben előfeldolgozó „eszköznek” tekinthető. A „szemmel látható” szókapcsolattal a feladat eddigi emberi jellegét kívántam kiemelni.

Beérkezett: 1983. XI. 23.

## FAZEKAS ZOLTÁN

A Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Műszer- és Irányítástechnikai Szakán szerzett kiegészítő oklevelet. Jelenleg az MTA—KFKI Mérés- és Számítástechnikai Kutató Intézetének tudomá-

nyos segédmunkatársaként a BME Műszer- és Méréstechnikai Tanszéken folytat szakmérnöki tanulmányokat. Fő érdeklődési köre: a képfeldolgozás. Ezen belül a matematikai vonatkozások, illetve az alkalmazási területek.

- a gépi ellenőrzés gyorsasága meghaladta az emberi kiértékelés sebességét
- a gépi ellenőrzés átlagos megbízhatósága felülmúlta az emberi ellenőrzését
- a gépi ellenőrző rendszer telepítési, üzemeltetési és karbantartási költsége a rendszer várható erkölcsi avulásáig az emberi ellenőröknek fizetendő bértétel alá csökkent.

Az emberi ellenőrzés persze számos alkalmazási területen jelen pillanatban még pótolhatatlan. Az ember ellenőrző munkájának sajátosságait (pl. a fáradékonyságból, idegességéből adódó hibák bekövetkezésének valószínűségét) a [2] cikk tárgyalja.

Azt az időpontot meghatározni, amelytől kezdve érdemes a gyártónak gépi ellenőröket használni az emberi ellenőrök foglalkoztatása helyett, igen nehéz. A gazdasági vonatkozásban túlménoen figyelembe kell venni a kérdéses nem kevésbé lényeges szociális oldalát is.

## 3. A vizuális ellenőrző rendszerek főbb funkcionális egységei

A vizuális ellenőrző rendszerek a következő fő funkcionális részeket tartalmazzák:

- megvilágító rendszer
- analóg kimenetű fényérzékelő készülék (általában kamera);
- gyors működésű analóg/digitális jel-konverter (A/D);
- képmemóriák (viszonylag nagy memóriaterület);

- a kép kiértékelését végző és a vezérlési funkciókat ellátó központi egység;
- input/output perifériák

A kamera analóg kimenő jelét az A/D konverter digitális jelle alakítja, és a digitális értékek (véges számú a mintavételezés miatt) a képmemóriában tárolódnak. Az input perifériáról bevitt parancsnak megfelelően a számítógép bizonyos jellemzőket határoz meg a képből és valamilyen, előre adott referencia szerinti osztályba sorolja a képet és ezzel együtt annak eredetijét, az ellenőrizendő terméket. Ezután a számítógép dokumentálja döntéseit és a terméket döntésének megfelelően mozgatja.

#### 4. A vizuális ellenőrző rendszerek jellemző alkalmazási területei

A vizuális ellenőrző rendszerek az ipar számos területén bizonyították már létjogosultságukat. Sejtteni lehet azonban, hogy a működő rendszerek nagy részét nem publikálták; vagy azért, mert az adott területen problémák merültek fel hatékonyságukkal kapcsolatban vagy azért, mert igen jól beváltak, és így jelentős nyereséghez (marxista gazdaságtani terminológiával: extraprofit) juttatták a rendszer gyártóját, felhasználóját.

A szakirodalomban fellelhető rendszerek az itt ismertetendő néhány gócpont köré csoportosíthatók:

- nyomtatott áramköri lapok (**NYÁK**-lapok) ellenőrzése [3];
- az integrált áramkör (**IC**) gyártás egyes technológiai lépéseinek ellenőrzése;
- **IC**-fotomaszkok ellenőrzése;
- **IC**-morzsák (chipek) tokozása, huzalozása;
- további elektronikus, elektromos szerkezetek ellenőrzése (pl. speciális kapcsolók, relék, érintkezők minősítése) [4];
- metallurgiai alkalmazások (pl. csiszolat ellenőrzés, anyagminősítés);
- nem elektromos iparági (pl. textil-, gép- és autóipari) alkalmazások.

E témakörök közül főleg az integrált áramköri fotomaszkok ellenőrzéséről lesz szó és csak érintőlegesen — a hasonló módszerek kapcsán — a **NYÁK**-lapok ellenőrzéséről.

#### 5. A fotomaszkok szerepe az **IC**-gyártásban Technológiai háttér

A magas színvonalú integrált áramköri technológia elképzelhetetlen fejlett számítástechnikai bázis nélkül. Az integrált áramkörök tervezésének első lépését, az áramköri tervezést szimulációs programok segítik.

A megtervezett áramkörökhöz, melyekben ma már több százezer tranzisztor is lehet, alakat-tervező program alakítja ki a különböző rétegekben létre-

hozandó alakatok tervét. Az alakatok keresztmetszete téglalapokból összeállítható. A téglalapok helyzetét, nagyságát valamilyen adathordozón tárolják.

Az alakatokat a félvezető felületéről anyagtranszport (pl. diffúzióval, ionimplantációval) segítségével hozzák létre. A felületen kialakított oxidmaszk meghatározza a félvezetőben kialakuló alakatokat. Az egyes rétegekhez külön maszkokra van szükség. Az oxidmaszk létrehozásához sablonokat használnak. Ezek a sablonok a fotomaszkok. A fotomaszkokat fényképezési eljárással alakítjuk ki az üveghordozón levő krómbevonatra felvitt fényérzékeny emulzióval.

Az alakatervből ábragenerátor segítségével hozzák létre a maszkhoz szükséges téglalapokat, majd vegyi maratással állítják elő a végleges fotomaszkot. Ez a krómos részeket átlátszatlan, a lemartrészeket átlátszó. Az így létrejött fotomaszkra a szaknyelv az első felvétel elnevezést használja. Ez a maszk a félvezető felületén kialakítandó maszknak 10-szeresen nagyított változata.

Az első felvételt igen pontos léptető kamera segítségével kicsinyítik és mátrix formában helyezik el az előbbihez hasonló üveghordozón. Az előhívás után létrejövő maszk a mestermaszk. Az erről készült másolatokat köztimaszkoknak nevezik. Az ezekről készült másolatok a munkamaszkok. Ez utóbbiakat használják a felületi oxidmaszkok kialakításához.

A műveletsorból látható, hogy a legnagyobb jelentősége az elsőfelvétel ellenőrzésének van, hiszen ennek összes hibája rákerül a további típusokra.

A maszkok jellegzetes és különböző forrásból származó hibákat tartalmazhatnak. Ezek a következők:

- túlyukak;
- átlátszatlan foltok;
- anyaghiány a vezetősáv szélén (lemaródás);
- anyag többlet a vezetősáv szélén (kitüremkedés);
- geometriai mérethibák.

Ezek a hibatípusok részben a környezeti szennyeződések miatt (megjegyzendő, hogy a maszkkészítést, éppen a hibákat elkerülendő, igen tiszta, szűrt levegőjű helyiségben kell végezni), részben a maszkkészítés technológiai normáinak be nem tartása miatt jönnek létre. Ez az utóbbi körülmény teszi lehetővé a technológiai folyamat ellenőrzését a kész maszk hibáinak ismeretében.

Előfordulhat azonban az is, hogy az ábragenerátor vagy a léptető kamera működése során alakulnak ki maszkhibák. Ezeket a hibákat két csoportba osztathatjuk:

- lépés vagy geometriai (méret, helyzet) tévesztése;
- geometriai torzulás.

Ilyen jellegű hibákat kell tehát feltárnia az emberi vagy gépi „meósnak”. (A technológiai részletekre vonatkozóan lásd [5, 6] könyveket.)

## 6. A fotomaszkok kihozatalának hatása az eredő kihozatalra

A fotomaszkok hibáinak feltárása igen fontos az IC-kihozatal szempontjából. A kihozatal ( $K$ ) a következő formulával szokták becsülni:

$$K = \prod_{l=1}^L K_{\text{maszki}} \cdot K_{\text{techn. foly. r.}}$$

Vagyis a maszkok hatása a kihozatalra a következő:

$$K^* = \prod_{l=1}^L K_{\text{maszki}}$$

ahol a  $K_{\text{maszk}}$  a Bose–Einstein statisztikának megfelelően számolható:

$$K_{\text{maszk}} = \frac{1}{1 + q_l D_l A}$$

$L$  a maszkal kialakított rétegek száma,  $D_l$  az átlagos hibásűrűség az  $l$ -edik rétegre tartozó maszkokon,  $q = P$  (a hiba fatális feltéve, hogy hiba van) érték az  $l$ -edik rétegre vonatkozóan.

Ahhoz, hogy pl. 40%-os kihozatalat biztosítani lehessen az 1 cm<sup>2</sup>-es 10 rétegű chipekből, 100%-os egyéb technológiai kihozatal esetén, az egyes maszkokon átlagosan nem lehet több, mint 0,5 hiba. (Beleértve a hibákba, mind a fatális, mind a nem fatális hibákat.) Ezen hibásűrűség eléréséhez igen alapos ellenőrzésre van szükség.

Az eredő chipkihozatal és a hozzá szükséges maszkkihozatal (mindegyik rétegre ugyanakkorának feltételezve) közti függést (100%-os egyéb kihozatal mellett) 5-12 rétegű technológia eseteire az 1. ábra szemlélteti.

## 7. Fotomaszkok ellenőrzésének gépi módszerei

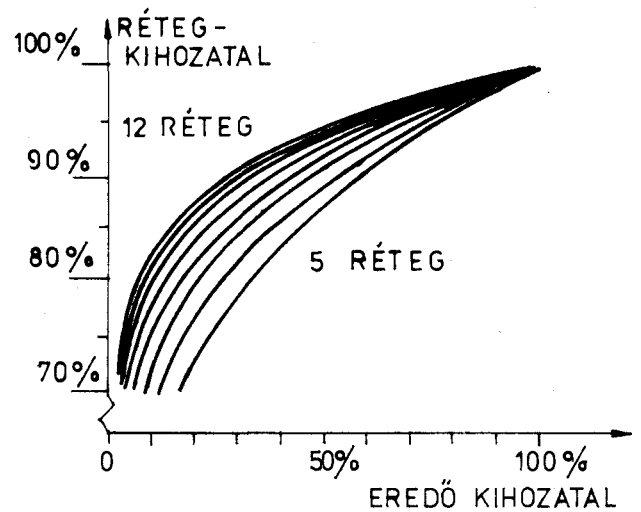
A fotomaszkok ellenőrzésével kapcsolatban szólni kell az alakzattervezésnél használt tervezési elvekről. Az alakzatterv egyik megkövetése a minimálhossz. Ez az a minimális vonalvastagság, amely két egymástól egy vonal vastagságnyra haladó párhuzamos szakaszok elválasztásához szükséges. Ez a hosszjellemző a fotoemulzióban alkalmazott szemcseméret-től és a szélein létrejövő fényszóródás mértékétől függ. A minimálhossz az integráltság egyik fő jellemzője, s mint ilyen az alkalmazott technológia színvonalának minősítője.

Az alakzattervek, további megszorításként, gyakran csak két, egymásra merőleges ( $x, y$ ) irány használatát engedik meg. Ily módon az alakzatterv téglalapjainak megfelelő oldalai párhuzamosak egymással.

A fenti megkövetések és minden további megkövetés az ellenőrzést könnyítik, és rájuk alapozva különböző ellenőrzési módszerek generálhatók.

A fotomaszkok ellenőrzéséhez szükséges képek csupán két szűrkeségi szintet használnak. Az ilyen képeket bináris (kétértékű) képnek nevezik. (Több szűrkeségi szintet használó képet szürke képnek hívják.) A maszk átlátszatlan részeihez pl. 0-t ren-

\*Az alakzatterv ellenőrzése külön feladat.



1. ábra. Az eredő chipkihozatal és a hozzá szükséges maszkkihozatal (mindegyik rétegre ugyanakkorának feltételezve) közti összefüggés 5–12 rétegű technológia esetén

delve, az átlátszó részekhez pedig 1-et rendelve alakul ki a bináris kép. Megjegyzendő, hogy az átlátszó és átlátszatlan részek gépi elkülönítése nem jelent problémát, sőt ez esetben a megvilágítás minőségével sem kell különösebben foglalkozni. (Nem így a NYÁK-lapok esetén, ahol kellemetlen tükröződés nehezíti a vezető és szigetelő sávok elkülönítését.)

Elégé természetesen, hogy a bináris képek feldolgozása könnyebb feladat, mint a több szűrkeségi szintre kvantált képeké. Ennek megfelelően számos egyszerű és szellemes algoritmust ad a szakirodalom e témakörben. Ezek egy része — mint látni fogjuk — különösebb gond nélkül adaptálható a maszkellenőrzési problémákra.

Maszkok ellenőrzése során igazán megbízható eredményt csak akkor várhatunk, ha referenciás összehasonlítást végzünk. Ekkor egy biztosan jó maszkkal vagy közvetlenül az alakzattervvel\* hasonlítjuk össze az ellenőrizendő fotomaszkot. Ez esetben tehát, vagy egy tökéletes (pl. szakember által már ellenőrzött) maszkra van szükség, vagy egy olyan programra, amely az alakzatterv adott részletét megkeresi és a képmemóriába „fényképezi”, vagyis a képmemóriára vonatkozóan ábragenerátorként működik.

Másik lehetőség, két nem feltétlenül jó (az egyszerűség kedvéért a mestermaszkon egymás mellett elhelyezkedő) maszk összehasonlítása. E módszer előnye és hátránya egyaránt abban rejlik, hogy nem igényel tökéletes maszkot. Ha két maszk között eltérést találunk, akkor legalább az egyik maszk biztosan hibás. (Hogy melyik, az a következő szomszéd vizsgálatával valószínűsíthető. Valószínűleg a többség a helyes alakzat.) Ha viszont nem találunk hibát, az még korántsem jelenti azt, hogy a maszk hibátlan. Jónak csak abban az esetben minősíthetjük a maszkot, ha feltehető, hogy közös hibájuk nincsen, és a maszkok mindenütt egyeznek.

E módszerek közös tulajdonsága, hogy igen érzékenyek az elhelyezési pontatlanságokra, hiszen a nem

tökéletes illeszkedés (elmozdulás, elfordulás) miatt vékony (remélhetőleg vékony!) differenciácsíkok jelennek meg az élek mentén. Pesszimális esetben a differenciácsíkok területe az alakzat kerületével és az elmozdulás szorzatával arányos. Megjegyzendő, hogy az alakzatok tökéletes „fedésbe hozása” már a mintavételi hiba megléte miatt sem feltétlenül lehetséges.

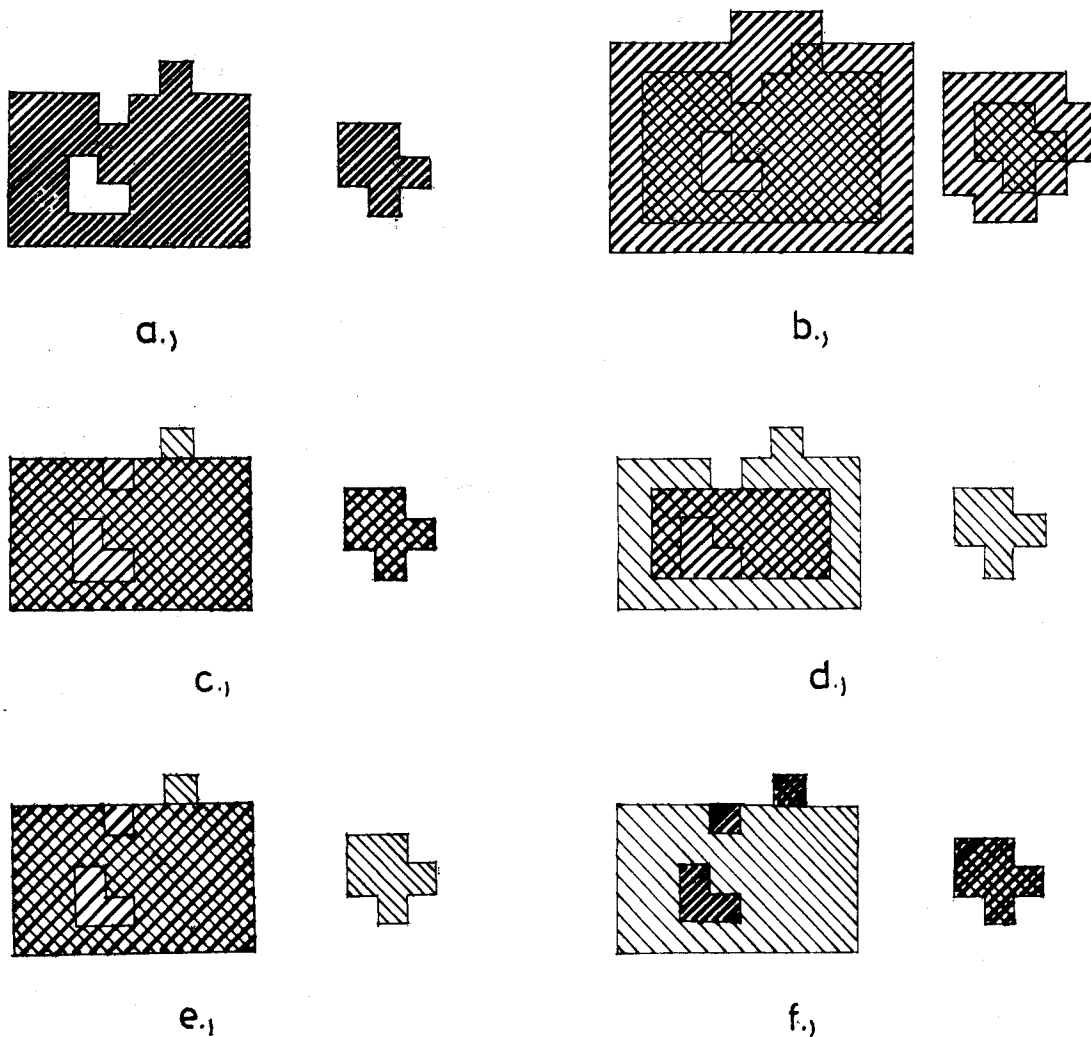
Az eddigiekből következik, hogy összehasonlítás esetén az alakzatok élénél bizonyos tűrést kell megengedni; vagyis nem szabad hibának tekinteni két maszk képe között észlelhető eltérést, ha az élek mentén levő előre meghatározott szélességű sávban jön létre.

A harmadik lehetséges eljárási csoportot joggal nevezhetjük szintaktikus ellenőrzési módszereknek, mivel valamelyik tervezési szabály megtartását ellenőrzik. E módszercsoporttal kapcsolatban felhívom a figyelmet arra, hogy, miképpen a programok szintaktikus ellenőrzése nem jelenti azok szemantikus ellenőrzését, úgy a maszkok ily módon végrehajtott minősítése sem jelentheti a maszkok teljes ellenőrzését. E módszerek nem észlelhetik a hiányzó alakzatokat vagy a szabályos alakú fölösleges idomokat.

A technológiai adatokat figyelembe véve az egyes hibafajták bekövetkezésének valószínűsége — még viszonylag jól kézben tartott fotolitográfiai technológia esetén is — úgy alakul, hogy a hibák zöme az előhívás során keletkezik (vagyis nem géphibából származik).

Hibára utal minden, a minimálhossznál kisebb átmérőjű folt, túlyuk, a minimálhossz felénél kisebb (de nem nulla) görbületi sugarú kitéremkedés, berágódás. Az ilyen, hibákra utaló alakzatok felderítésére számos egymással többé-kevésbé rokon módszer ismert. Ezek közül a legismertebbet, a vastagítás—vékonyítás módszerét mutatom be.

Egy alakzat képe a 2a ábrán látható. Növeljük meg az alakzatot a határon levő képpontoknál „kifelé” egy képponttal. Ekkor a 2b ábrán látható képet nyerjük. Zsugorítsuk az így nyert alakzatot, vagyis a határképpontjait hagyjuk el. (8 képpontos szomszédsági viszonyt használunk.) Ekkor jutunk a 2c ábrához. Zsugorítsuk tovább ezt az alakzatot, ekkor kapjuk a 2d ábrát. Ezt ismét „kifelé” növelve a 2e ábrán látható alakzat jön létre. Az első képtől eltérő értékű képpontokat a 2f ábra mutatja.



H925-2

2. ábra. Kis méretű foltok, kitéremkedések, anyagihiányok kimutatása a képen a vastagítás—vékonyítás módszerével. (Az egyes fázisoknál az eredeti alakzat vékonyan jelölve van)

Az eljárás vastagító, ill. vékonyító lépéseinek a számát növelve tetszőleges hibaméretre alkalmassá tehető a módszer.

A minimálhossznak feleljen meg a (mintavételezett) képen  $f$  képpont; entier ( $f/2$ ) számú vastagító, majd kétszer ennyi vékonyító, majd ismét entier ( $f/2$ ) vastagító operációt végezve, kiadódnak a minimálhossznál kisebb, korábban már részletezett hibák.

Egy másik szintaktikus ellenőrző módszer azon alapszik, hogy a véletlen hibák „nincsenek tekintetel” az előírt irányokra, s határvonaluk mentén felfedezhető az adott irányoktól eltérő irányú határpontszakasz. Ez esetben viszonylag egyszerű képpontmátrixot kell keresni; pl. ilyet:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

vagy ennek  $k \cdot 90^\circ$ -kal elforgatott változatait. ( $2 \times 2$ -es mátrix nem alkalmas, hiszen

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

alakzat pusztán mintavételezési hiba miatt is előadódhat.)

További ellenőrzési módszereket is említ az irodalom. Ezek közös tulajdonsága, hogy a képből valamilyen, célszerűen tömörített jellemzővektort határoznak meg és ezt hasonlítják össze a referenciakép ugyanilyen jellemzővektorával. A jellemzővektorok generálásához itt közlök néhány módszert: adott  $y$  értéknél maszkon végighaladva hány élet találunk vagy adott  $x$  értéknél hasonlóan adódó szám. Ehhez hasonló módszer a következő: adott egyenes mentén végighaladva a maszkon az élek koordinátáját összeadjuk. Ekkor, ha hiányzik egy téglalap, akkor ennek magasságában végighaladva a maszkon, a kontrollszumma értéke kisebb lesz a referenciakép kontrollszumájánál. Amennyiben ezen a vonalon csak egy téglalap hiányzik, akkor ennek helyzete a kontrollszummák különbségéből meghatározható.

Természetesen további módszerek is fellelhetők a szakirodalomban.

### 8. A maszkellenőrző rendszerek tervezése során jelentkező kérdésekről

Egyik legelső eldöntendő kérdés, hogy mekkora legyen a legkisebb, a képen még biztosan megjelenő alakzat. Erre vonatkozóan a technológus kollégáktól megbízható információt kaphatunk. Pl.  $4 \mu\text{m}$ -es minimálhossz esetén  $0,2 \mu\text{m}$ .

Eldöntendő kérdés, hogy milyen fotomaszktípust kívánunk rendszerünkkel ellenőrizni vagyis első felvételt, vagy mestermaszkot. Szorítkozzunk most csupán az első felvétel ellenőrzésére. Ekkor — az előbbiek szerint — ennek  $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ -es feltételeit már biztosan érzékelnünk kell. A  $2 \mu\text{m}$ -es hosszhoz — a biztos érzékelés érdekében — (legalább)  $2$  képpont szükséges.  $1$  képpont az első felvételen  $1 \mu\text{m}$ -nek, az erről a maszkról kicsinyített további maszkokon  $0,1 \mu\text{m}$ -nek fog megfelelni.

$512 \times 512$  bites képmemória esetén az első felvétel  $0,5 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$ -es mezejét látja a képfeldolgozó rendszer egyszerre. Az első felvétel felülete, több tízezer képmezőnyi. Így nem csodálható, hogy az első felvétel gépi ellenőrzése közel egy órát vesz igénybe a meglévő rendszereknél.

A rendszerhez jó minőségű, kamerával felszerelhető mikroszkóp szükséges. A mikroszkóp beállítandó nagyítása a kamera érzékelőjének méretétől függ.

Mint minden optikai rendszer a mikroszkóp, kamera együttes is torzít (megjegyzendő, hogy általában a kamera torzítása jelentős) és így a már részletezett összehasonlító módszerek közvetlenül nem alkalmazhatóak. Meg kell határozni az optika torzítását valamilyen szabályos mintázat segítségével és az alakzatterv megfelelő részét az optikai torzító leképzés ismeretében a képmemóriában már előtorzítva kell elhelyezni. Így az összehasonlítás már lehetséges.

További problémát jelent a maszk pontos pozicionálása és egyenletes mozgatása.

Az ellenőrzésnél igen fontos a gyorsaság. Ehhez hatékony, párhuzamos műveletvégzésre alkalmas képfeldolgozó rendszer szükséges.

### 9. Záró gondolatok, tervek

A KFKI-ban kifejlesztettek egy gyors képfeldolgozó rendszert [8]. Erre alapozva a hazai integrált áramkört gyártás paramétereinek megfelelő, fotomaszkellenőrző rendszert kívánunk létrehozni.

A már ismertett ellenőrzési módszerek külön-külön vagy egymással kombinálva is alkalmazhatók. Célszerű, ha a rendszernek megadható, hogy milyen ellenőrzési módszereket használjon. Fontos feladat az ellenőrzési döntések, hibahelyek célszerű dokumentálása.

Kereskedelmi forgalomban levő maszkellenőrző rendszereket pl. az amerikai KLA cég gyárt. Gyártmányismertetőikből kiderül, milyen műszaki paraméterekkel kell rendelkezniük a korszerű jelző-re igényt tartó, gépi fotomaszk „meősoknak”...

## I R O D A L O M

- [1] *W. K. Pratt*: Digital image processing, a Wiley-Interscience publication, 1978.
- [2] *S. C. Wang*: Human reability in visual inspection, Quality, sept. 1974.
- [3] *J. F. Jarvis*: A method for automating the visual inspection of printed wiring boards, IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI 2. pp. 77–82., Jan. 1980.
- [4] *C. A. Klein—K. J. Breeding*: Automatic optical identification of faults in bubble memory overlay pattern, Proc. IEEE Comp. Soc. Conf. Pattern Recognition and Image Processing, Aug. 1979. pp. 87–92.
- [5] *Honty L.* (KFKI): Integrált áramkörti fotomaszkok és félvezető szeletek kézi és automatikus ellenőrzése (tanulmány).
- [6] *Ripka G.* (szerk.): Elektronikai technológia (egyetemi jegyzet). Tankönyvkiadó, Bp. 1980.
- [7] *R. T. Chien—C. A. Hartlow*: Automated visual inspection: A survey IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. vol. PAMI—4 No. 6. Nov. 1982.
- [8] *Rényi I.*: Multiprocessoros képfeldolgozó rendszerek (kandidátusi értekezés).