



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

244 051

(11)

(B1)

(61)

(23) Výstavní priorita

(22) Přihlášeno 13 03 84

(21) PV 1772-84

(51) Int. Cl.⁴

H 01 J 37/06

(40) Zveřejněno 17 09 85

(45) Vydáno 01 06 88

(75)

Autor vynálezu

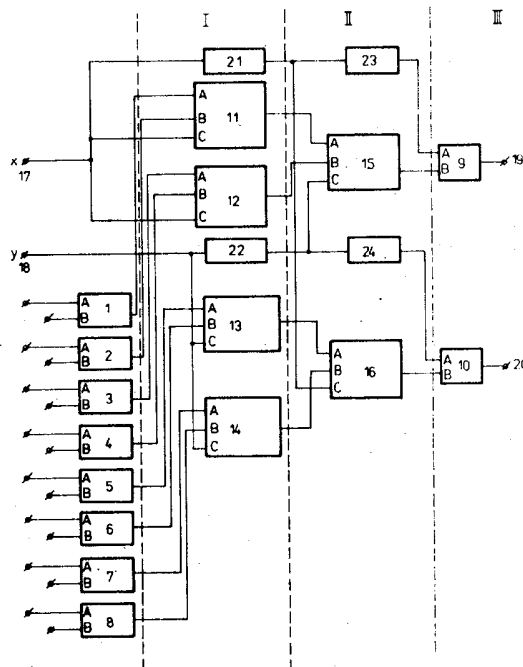
FRANK LUDĚK RNDr.;

VAŠINA PETR RNDr., BRNO

(54)

Zapojení pro korekci polohových souřadnic
v elektronovém litografu

Zapojení pro korekci polohových souřadnic je vytvořeno s minimálním počtem aritmetických obvodů. Podstatou je zapojení rozdělené na přípravný blok a tři stupně výpočtu korigovaných souřadnic. Přípravný blok obsahuje osm sečítaček pro digitální operaci A. B, jejichž vstupy A jsou spojeny s prvním souborem korekčních výstupů datového systému a jejich vstupy B s druhým souborem korekčních výstupů datového systému. První výpočtový stupeň je pak tvořen čtyřmi aritmetickými obvody pro operaci $A + B \cdot C$ a prvními dvěma registry. Druhý stupeň je tvořen pátým a šestým aritmetickým obvodem a třetím a čtvrtým registrem, přičemž třetí stupeň tvoří devátá a desátá sečítačka, jejíž výstupy tvoří korigované souřadnice x a y .



v elektronovém litografu

Vynález se týká zapojení pro korekci polohových souřadnic s minimálním počtem aritmetických obvodů.

V elektronovém litografu vektorového typu je elektronový exponující svazek natvarován do obecně obdélníkového průřezu o proměnných rozměrech a pak je elektrostatickým nebo elektromagnetickým polem vychylován v rámci expozičního pole. Po definitivním umístění svazku je provedena expozice jednoho elementárního razítka, z nichž je sestavena celá exponovaná kresba masky, jedné technologické vrstvy integrovaného obvodu. Na vychylování exponujícího svazku jsou kladeny velmi přísné požadavky - umístění vztažného bodu elementárního razítka musí být reprodukovatelně nastavitelné a absolutně přesné s odchylkou zhruba 10^{-5} celého rozsahu výchylky. Mimo to je třeba s toutéž přesností přizpůsobit souřadný systém vychylování ke struktuře již vytvořené na exponovaném substrátu, která je zachycena ve vztažných značkách, obvykle čtyřech v rámci jednoho expozičního pole. V režimu přímé expozice masek na křemíkovou desku může být tato předchozí struktura dokonce deformována vlivem již provedených technologických operací. Uvedené požadavky vyplývají z nutnosti dosáhnout dokonalého navazování sousedních expozičních polí, dokonalého soukrytu jednotlivých technologických vrstev a rovněž navazování a soukrytu částí struktur exponovaných elektronovým litografem, s částmi struktur nebo technologickými vrstvami exponovanými jiným způsobem, např. fotolitograficky. Jedinou cestou nevylučující dosažení potřebné přesnosti je digitální řízení výchylky s použitím vysoce přesných 16-ti a více bitových číslicově analogových převodníků.

Návrh vysoce přesného digitálně řízeného bloku vychylování elektronového svazku přináší řadu problémů, které jsou zejména dále komplikovány požadavkem na extrémní rychlost vychylování a tedy produktivitu expozice. Avšak i překonání všech těchto problémů vede jenom k částečnému výsledku, a totiž k získání reprodukovatelné nastavitelnosti a absolutní přesnosti výstupní elektrické veličiny vychylovacího bloku, t.j. napětí na vychylovacích deskách, respektive proudu ve vychylovacích cívkách. Transformace této elektrické veličiny v geometrické souřadnice exponujícího svazku v expozičním poli je zatížena dalšími rušivými faktory. Část z nich, jako jsou mimoosové aberace elektronově optického systému elektronového litografu, lze do jisté míry, stěží však s potřebnou přesností teoreticky postihnout. Zbývající faktory, jako jsou vnější rušivá elektromagnetická pole, výrobní tolerance součástí elektronově optického systému a různé drifty, mají však náhodný a zčásti dokonce průměrný charakter. Stejně povahy jsou i dodatečné deformace předchozích exponovaných struktur, t.j. sítě vztažných značek. Ze všech těchto okolností vyplývá nezbytnost korekce vlastního souřadného systému elektronového litografu na základě proměřování kalibračního etalonu. Při proměřování kalibračního etalonu tvořeného přiměřeně hustou sítí značek je využíván elektronový litograf v režimu rastrovacího elektronového mikroskopu, obraz kalibračního etalonu je automaticky vyhodnocován a jsou zjišťovány rozdíly naměřených a nominálních poloh síťových bodů kalibračního etalonu. Tyto rozdíly lze sestavit do dvourozměrné kalibrační matice, v níž pak můžeme opravu libovolné polohy exponujícího svazku vyhledat interpolací.

Kalibrační matice korekcí poloh elektronového svazku v diskrétních bodech odpovídajících sítí značek kalibračního etalonu zajišťuje reprodukovatelnou nastavitelnost při provádění rekalibrace dostatečně častém vzhledem k proměnnosti rušivých faktorů i absolutní přesnost těchto diskrétních hodnot souřadnic. Korigované souřadnice v místech mimo kalibrační body je ovšem třeba zjišťovat výpočtem. Samotnou kalibrační matici musíme ještě pro každé expoziční pole upravit tak, aby zachycovala přízpůsobení ideálních kartézských souřadnic, reprezentovaných kalibračním etalonem na předchozí naexponovanou strukturu reprezentovanou vztažnými značkami.

Vlastní korekci souřadnic budeme provádět podle vztahů

$$x' = x + P_x(x, y) = x + (a_x + b_x x + c_x y + d_x xy)$$

$$y' = y + P_y(x, y) = y + (a_y + b_y y + c_y x + d_y xy)$$

Tento rozsah korekčních polynomů obsahujících čtyři korekční konstanty a až d odpovídá čtvercové síti značek kalibračního polynomu a rovněž čtyřem vztažným značkám v expozičním poli. Korekční konstanty určíme z podmínek souhlasu souřadnic s polohami značek v rozích daného políčka sítě kalibračního etalonu, respektive s polohami vztažných značek, takže máme v obou případech k dispozici řešitelnou soustavu 8 rovnic, souhlas obou souřadnic pro všechny čtyři značky / pro 8 neznámých a_x až d_x a a_y až d_y .

Jestliže výše uvedené rovnice vyjadřují korekci souřadnic uvnitř políčka kalibrační sítě s korekčními konstantami, odpovídajícími tomuto políčku, pak rovnice téhož tvaru

$$x'' = x' + P'_x(x', y')$$

$$y'' = y' + P'_y(x', y')$$

vyjadřují korekci souřadnic na předchozí strukturu reprezentovanou vztažnými značkami. Postupnost transformace souřadnic $x \rightarrow x' \rightarrow x''$ je dána tím, že vztažné značky jsou proměřovány s již zkalibrovaným vychylováním elektronového svazku.

Lze dokázat, že v aproximaci prvního řádu, která svojí přesností odpovídá použitému rozsahu korekčních polynomů, lze při přímé transformaci $x \rightarrow x''$ prostě sečíst v korekčních polynomech stejnohlé konstanty. Pro výsledné souřadnice x'' , y'' korigované na kalibrační etalon i na předchozí strukturu tedy platí

$$x'' = x + P''_x(x, y) = x + [(a_x + a'_x) + (b_x + b'_x)x + (c_x + c'_x)y + (d_x + d'_x)xy]$$

$$y'' = y + P''_y(x, y) = y + [(a_y + a'_y) + (b_y + b'_y)y + (c_y + c'_y)x + (d_y + d'_y)xy] ,$$

kde x , y jsou nominální souřadnice elementárního razítka v exponované struktuře, konstanty a_x až d_x a a_y až d_y jsou vypočteny pro daná políčka kalibračního etalonu a konstanty a'_x až d'_x a a'_y až d'_y odpovídají vztažným značkám expozičního pole.

Úkolem řídicího systému elektronového litografu tedy je na základě občasného proměřování kalibračního etalonu a na základě proměřování vztažných značek v každém expozičním poli, pokud jsou v něm rozmístěny realizovat v reálném čase přepočet souřadnic x , y ze souboru expozičních dat do souřadnic x'' , y'' nastavovaných ve vychylovacích stupních. Vzhledem k vysoké frekvenci provádění elementárních expozic je nutné provádět tento přepočet maximální dosažitelnou rychlostí. Vzhledem ke složitosti transformačních rovnic to představuje vysoce náročný úkol.

Výpočet korigovaných souřadnic je možné zajistit programově v řídicím počítači elektronového litografu. Avšak ani optimalizovaný program v počítači s maximální dostupnou operační rychlostí nemůže korigovat jednu dvojici souřadnic v čase kolem $1/\mu\text{sec}$ a méně, což je dosažitelná doba expozice elementárního razítka. Korekce souřadnic by se tak stala výrazně limitujícím faktorem pro produktivitu expozice. Pro řešení korekčních vztahů (3) lze také postavit specializovaný procesor, který může vyhovět z hlediska rychlosti. Toto řešení by však představovalo vývoj a výrobu velkého objemu unikátního hardware, což by bylo nevýhodné mimo jiné i z hlediska spolehlivosti a servisu.

Tyto dosavadní nedostatky řeší zapojení pro korekci polohových souřadnic v elektronovém litografu, sestávající z deseti sečítaček pro digitální operaci AB , šesti aritmetických obvodů pro digitální operaci $A + B \cdot C$ a čtyř registrů. Podstatou zapojení je, že prvních osm sečítaček je spojeno vstupy s prvním souborem a vstupy s druhým souborem korekčních výstupů datového systému, přičemž výstupy první a druhé sečítačky jsou spojeny se vstupy prvního aritmetického obvodu, výstupy třetí a čtvrté sečítačky jsou spojeny se vstupy druhého aritmetického obvodu, výstupy páté a šesté sečítačky jsou spojeny se vstupy třetího aritmetického obvodu, výstupy sedmé a osmé sečítačky jsou spojeny se vstupy čtvrtého arit-

metického obvodu, zatímco vstup souřadnic x je spojen se vstupy prvního a druhého aritmetického obvodu a prvního registru, jehož výstup je spojen se vstupem šestého aritmetického obvodu a přes třetí registr se vstupem deváté sečítačky s výstupem korigovaných souřadnic x , zatímco vstup souřadnic y je spojen se vstupy třetího a čtvrtého aritmetického obvodu a se vstupem druhého registru, jehož výstup je spojen se vstupem pátého aritmetického obvodu a přes čtvrtý registr se vstupem desáté sečítačky, přičemž výstupy prvního a druhého aritmetického obvodu jsou spojeny se vstupy pátého aritmetického obvodu, jehož výstup je spojen se vstupem deváté sečítačky, zatímco výstupy třetího a čtvrtého aritmetického obvodu jsou spojeny se vstupy šestého aritmetického obvodu, jehož výstup je spojen se vstupem desáté sečítačky s výstupem korigovaných souřadnic y .

Výhodou zapojení podle vynálezu je to, že je tvořeno kromě registrů pouze dvěma vícekrát zopakovanými jednoduchými typy aritmetických obvodů, což zvyšuje standardizaci hardware a dále to, že všechny obvody jsou sestaveny do tří stupňů postupného procesu pipe-line s možností sdílení času mezi těmito stupni, takže lze dosáhnout minimálního času provedení celé korekční procedury rovného času nejpomalejší operace, t.j. zpoždění v aritmetickém obvodu pro operaci $A + B \cdot C$.

Zapojení podle vynálezu blíže objasní přiložený výkres, v němž je na obr. 1 znázorněno celé zařízení, rozdělené na přípravný blok a tři stupně výpočtu korigovaných souřadnic.

Přípravný blok obsahuje osm sečítaček 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, na jejichž vstupy A jsou připojeny korekční konstanty prvního souboru korekčních výstupů datového systému, na vstupy B korekční konstanty druhého souboru korekčních výstupů datového systému. První výpočtový stupeň obsahuje první čtyři aritmetické obvody 11, 12, 13, 14 pro operaci $A + B \cdot C$ a první dva registry 21 a 22. Přitom na vstup prvního registru 21 a na vstupy C prvního a druhého aritmetického obvodu 21 a 22 je připojen vstup 17 souřadnice x . Na vstup druhého registru 22 a na vstupy C třetího a čtvrtého aritmetického obvodu 13 a 14 je připojen vstup 18 souřadnice y . Na vstupy A a B prvního a druhého aritmetického obvodu 11 a 12 jsou po-

stupně připojeny výstupy prvních čtyř sečítaček 1, 2, 3, 4 z přípravného bloku, kdežto na vstupy A a B třetího a čtvrtého aritmetického obvodu 13 a 14 v prvním stupni jsou postupně připojeny výstupy dalších čtyř sečítaček 5, 6, 7, 8. Druhý stupeň je tvořen třetím a čtvrtým registrem 23 a 24 a pátým a šestým aritmetickým obvodem 15 a 16, přičemž na vstup třetího registru 23 a na vstup C šestého aritmetického obvodu 16 je připojen výstup prvního registru 21. Vstup čtvrtého registru 24 a vstup C pátého aritmetického obvodu 15 je spojen s výstupem druhého registru 22. Výstupy prvního a druhého aritmetického obvodu 11 a 12 jsou připojeny na vstupy A a B pátého aritmetického obvodu 15. Výstupy třetího a čtvrtého aritmetického obvodu 13 a 14 jsou připojeny na vstupy A a B šestého aritmetického obvodu 16. Třetí stupeň je tvořen devátou a desátou sečítačkou 9 a 10, na jejichž vstupy A jsou připojeny výstupy třetího a čtvrtého registru 23 a 24, kdežto na jejich vstupy B jsou připojeny výstupy pátého a šestého aritmetického obvodu 15 a 16. Výstupy 19 a 20 deváté a desáté sečítačky 9 a 10 ve třetím stupni popisovaného zapojení tvoří korigované výstupní souřadnice x a y .

Za provozu pracuje zapojení takto: Při expozici v rámci n -tého políčka sítě kalibračního etalonu jsou na první vstupy sečítaček 1 až 8 přiváděny v digitálním tvaru příslušné korekční konstanty a_x až d_x a a_y až d_y v daném pořadí. Při expozici mezi vztažné značky jsou současně po celou dobu expozice jednoho expozičního pole na druhých vstupech sečítaček 1 až 8 korekční konstanty a'_x až d'_y zjištěné proměřením poloh vztažných značek. Na výstupech sečítaček 1 až 8 přípravného bloku jsou tedy k dispozici výsledné korekční konstanty $a_x + a'_x$, $d_y + d'_y$. V prvním stupni korekčního procesoru se provádí první krok zpracování souřadnic exponovaného elementárního razítka. V prvních čtyřech aritmetických obvodech 11 až 14 se postupně vypočítávají údaje

$$(a_x + a'_x) + (b_x + b'_x) x$$

$$(c_x + c'_x) + (d_x + d'_x) x$$

$$(a_y + a'_y) + (b_y + b'_y) y$$

$$(c_y + c'_y) + (d_y + d'_y) y$$

Během tohoto výpočtu se hodnoty x a y zadržují v prvním a druhém registru 21 a 22. Po ukončení této operace se všechny tyto digitální údaje přenášejí do druhého stupně a první stupeň se tím zcela uvolňuje. V režimu sdílení času může ihned v prvním bloku začít zpracovávání dalších souřadnic ze vstupních svorek 17 a 18. Ve druhém stupni se dále zpracují výsledky prvního stupně tak, že v pátém aritmetickém obvodu 15 se vypočítává

$$P'_x(x, y) = [(a_x + a'_x) + (b_x + b'_x)x] + [(c_x + c'_x) + (d_x + d'_x)x]y$$

a v aritmetickém obvodu 16 pak

$$P'_y(x, y) = [(a_y + a'_y) + (b_y + b'_y)y] + [(c_y + c'_y) + (d_y + d'_y)y]x.$$

Současně se po dobu výpočtu udrží hodnoty x a y v třetím a čtvrtém registru 23 a 24 druhého stupně. Po přenosu všech těchto signálů do třetího stupně se druhý stupeň uvolňuje pro další zpracování následujících mezivýsledků prvního stupně, který může bezprostředně začít zpracovávat třetí dávku souřadnic ze vstupních svorek 17 a 18. Ve třetím stupni se provádí konečné sečtení

$$x'' = x + P'_x(x, y)$$

$$y'' = y + P'_y(x, y)$$

a výstup korigovaných souřadnic x'' a y'' na svorky 19 a 20. V okamžiku výstupu, respektive po ukončení aritmetických operací v prvním a druhém stupni, které jsou delší a určují frekvenci strobovacích signálů pro přenos mezi jednotlivými stupni, se korigované souřadnice realizují v bloku vychylování elektronového svazku a do korekčního bloku současně vstupují čtvrté souřadnice ze vstupních svorek 17 a 18. Zapojení podle vynálezu tedy zpožďuje expoziční data na výstupu vůči vstupu o tři dávky, přičemž doba mezi dvěma výstupy za sebou následujících korigovaných dat je rovna trvání nejdelší operace, t.j. zpoždění aritmetického bloku pro operaci $A + B \cdot C$.

Zařízení podle vynálezu lze použít pro korekci digitálních souřadnic v elektronovém litografu a ve vyměřovacím rastrovacím elektronovém mikroskopu.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

244 051

polohových
Zapojení pro korekci (souřadnic) v elektronovém litografu, sestávající z deseti sečítaček pro digitální operaci AB , šesti aritmetických obvodů pro operaci $A + B \cdot C$ a čtyř registrů, vyznačené tím, že prvních osm sečítaček (1 až 8) ~~je~~ spojeny vstupy (A) s prvním souborem a vstupy (B) s druhým souborem korekčních výstupů datového systému, přičemž výstupy první a druhé sečítačky (1 a 2) jsou spojeny se vstupem (A a B) prvního aritmetického obvodu (11), výstupy třetí a čtvrté sečítačky (3 a 4) jsou spojeny se vstupem (A a B) druhého aritmetického obvodu (12), výstupy páté a šesté sečítačky (5 a 6) jsou spojeny se vstupem (A a B) třetího aritmetického obvodu (13), výstupy sedmé a osmé sečítačky (7 a 8) jsou spojeny se vstupem (A a B) čtvrtého aritmetického obvodu (14), zatímco vstup (17) souřadnic x je spojen se vstupem (C) prvního a druhého aritmetického obvodu (11 a 12) a prvního registru (21), jehož výstup je spojen se vstupem (C) šestého aritmetického obvodu (16) a přes třetí registr (23) se vstupem (A) deváté sečítačky (9) s výstupem (19) korigovaných souřadnic x , zatímco vstup (18) souřadnic y je spojen se vstupem (C) třetího a čtvrtého aritmetického obvodu (13 a 14) a se vstupem druhého registru (22), jehož výstup je spojen se vstupem (C) pátého aritmetického obvodu (15) a přes čtvrtý registr (24) se vstupem (A) desáté sečítačky (10), přičemž výstupy prvního a druhého aritmetického obvodu (11 a 12) jsou spojeny se vstupem (A a B) pátého aritmetického obvodu (15), jehož výstup je spojen se vstupem (B) deváté sečítačky (9), zatímco výstup třetího a čtvrtého aritmetického obvodu (13 a 14) jsou spojeny se vstupem (A a B) šestého aritmetického obvodu (16), jehož výstup je spojen se vstupem (B) desáté sečítačky (10) s výstupem (20) korigovaných souřadnic y .

