

Mikroelektronika na Slovensku, výroba polovodičových prvkov

Vývoj a výroba fotolitografických masiek v TESLE Piešťany v rokoch 1967-1993

ANTON HALAMA

This paper deals with the development and manufacturing photolithographic masks at the TESLA Piešťany company between years 1967 and 1993. After the brief introduction to the problem, processing and creating simple emulsion masks (2x2 to 5x5 inch) as well as development and production of hard chrome masks (4x4 to 7x7 inch) used at the VLSI integrated circuits production is described in detail.

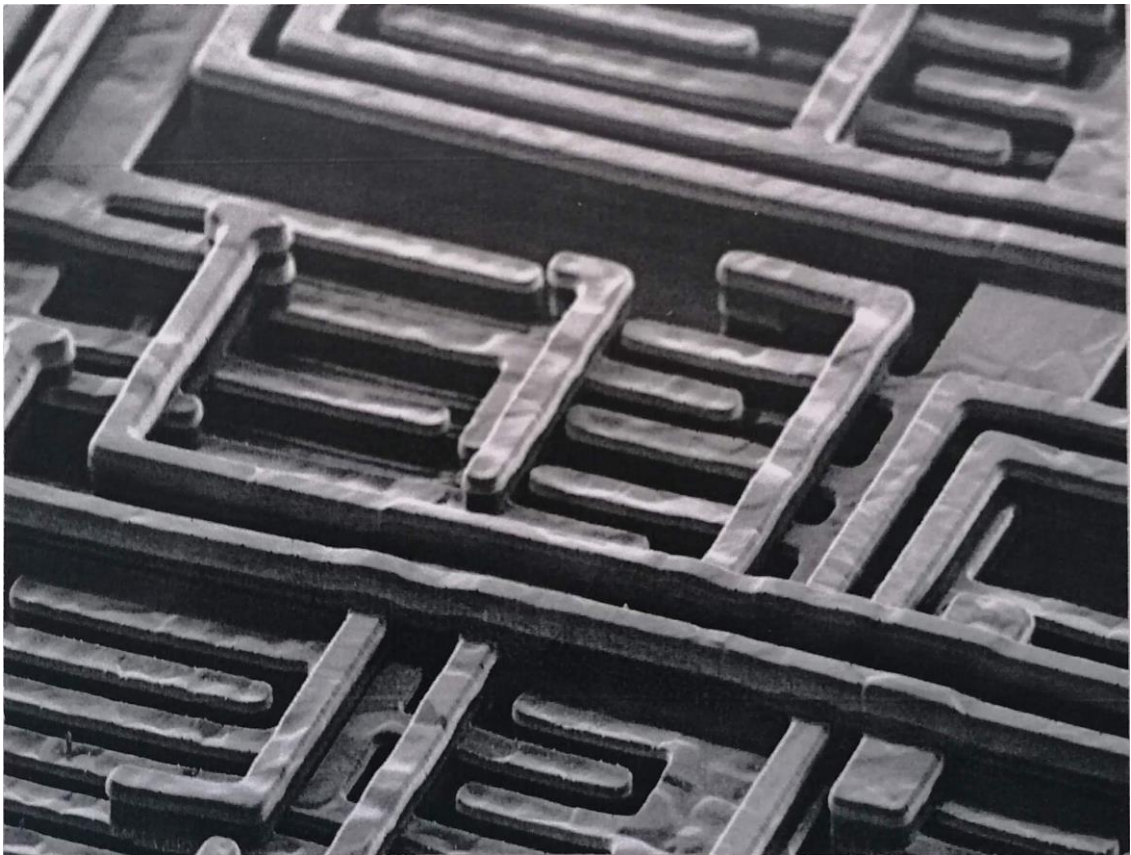
Úvod do problematiky výroby polovodičov

Proces výroby polovodičov (diódy, tranzistory a integrované obvody) pozostáva z jedinečných fáz spracovania, ktorých výsledkom je celý rad činností, ktoré sa môžu uskutočňovať v konkrétnom zariadení alebo v rôznych postupoch v mnohých zariadeniach. Typická výroba polovodičov obsahuje stovky etáp fyzikálno-chemických operácií, pri ktorých sa spravidla na kremíkovej (Si doske) generuje veľké množstvo mikroskopických prvkov.

Výrobné procesy polovodičov zahŕňajú postupné vytváranie vertikálnych, navzájom presne pospájaných mikrovrstiev, pričom po každej novo nadopovanej mikrovrstve musí kremíková doska prejsť fotolitografickým spracovaním.

Počas fotolitografického spracovania sa v každej novej mikrovrstve vytvára pomocou fotolitografickej masky požadovaná mikroštruktúra. Mikroštruktúra sa z fotolitografickej masky vo fotolitografickom zariadení (expozičné zariadenie s orientáciou) prenáša na kremíkovú dosku kontaktným, bezkontaktným alebo projekčným spôsobom, pomocou UV svetla. Čím je vlnová dĺžka svetla kratšia, tým sa dá vytlačiť menší rozmer mikroštruktúry. Každá nová vrstva je presne orientovaná na predchádzajúcu a jednotlivé mikroštruktúry sa vytvárajú do tzv. fotorezistu, ktorý je nanosený na povrchu kremíkovej dosky. Prenos sa robí fotografickým procesom, ktorý môže byť pozitívny alebo negatívny. Po vyvolaní sa odkryté časti vyleptajú, čím sa otvárajú okná pre ďalšiu dopovanú mikrovrstvu. Výroba masiek a fotolitografia sú určujúce pre dosahované limity výroby polovodičov a tvoria v súčasnosti viac ako 60% z celkových výrobných nákladov.

Na obr.1 je pohľad na štvormikrónovú mikroštruktúru, kde je vidieť 4 funkčné vrstvy polovodiča. (fotografia bola zhotovená el. mikroskopom zväčšenie 1500x)



Obr.1 Štvormikrónová mikroštruktúra na Si doske

Fotolitografická maska

Fotolitografická maska (ďalej maska) je sklenená doska (vysoko čisté sklo s nízkym koeficientom rozťažnosti), na ktorej sú v tenkej vrstve: fotoemulzia-masky emulzné, alebo Cr,CrxOy- masky chrómové s vysokou presnosťou vytvorené pravidelné mikroštruktúry jednej vrstvy polovodičového prvku tzv čipu. Počet úrovní mikrovrstiev je daný zložitou technologickým procesom a pohyboval sa v Tesle Piešťany od troch (diódy), šesť (tranzistory) do dvanásť (IO). Každá úroveň predstavuje jednu masku, t.j. pre daný prvok bola potrebná tzv.sada masiek.)

Pre zaujímavosť: v roku 2022 potrebná priemerná sada masiek pre štruktúry 16nm obsahovala až 75 ks masiek a cena sady sa pohybovala na úrovni 30-50 mil. dolárov.

Názvoslovia používané pri výrobe masiek v TESLE Piešťany.

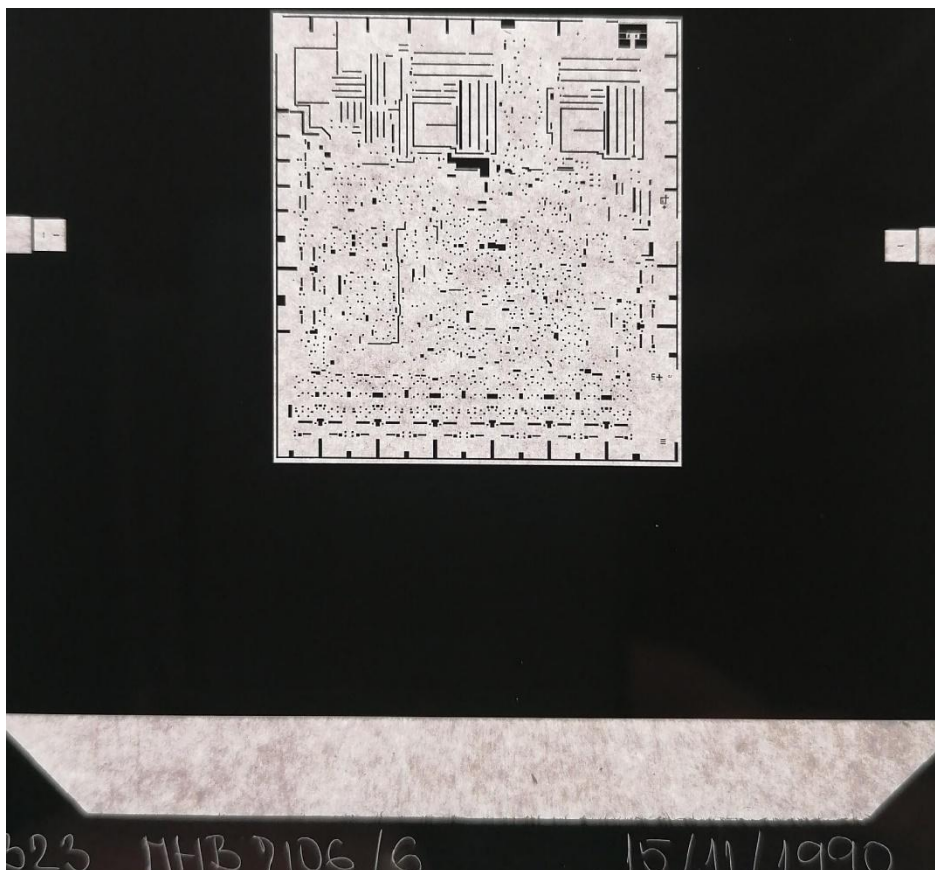
NÁVRH OBVODU (D, Tr, IO) : Viacfarebná zostava všetkých vrstiev (úrovní) daného obvodu 200:1 alebo 250:1 .

VÝKRESY JEDNOTLIVÝCH VRSTIEV (Úrovní): Zväčšená topológia jednej úrovni obvodu 200:1 alebo 250:1

PRÍPRAVA DAT: Generovanie dát pre súradnicový zapisovač (koordinátograf), optický generátor obrazcov, laserový generátor obrazcov alebo elektronový generátor obrazcov.

RUBYLITHOVA PREDLOHA: Zväčšenina 200:1 alebo 250:1 jednej úrovni obvodu narezaná na súradnicovom zapisovači do dvojvrstvovej fólie rubylith, pričom sú odlúpením odstránené všetky časti, ktoré netvoria kresbu danej vrstvy.

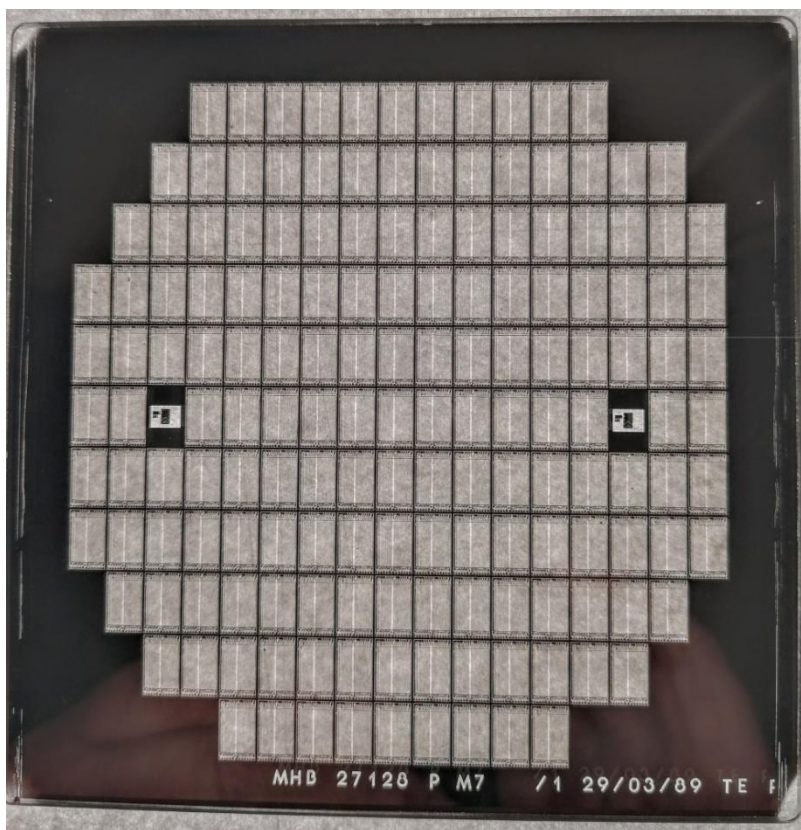
REDUKCIA: 10-násobná zväčšenina jednej úrovni čipu, zhotovená pomocou redukčnej kamery z rubylithovej predlohy zmenšením 1:20 prípadne 1:25. alebo vygenerovaná pomocou generátora obrazcov.



Obr.2 Redukcia obvodu MHB 7106 6 maska, kontakty

KROKOVANÁ MASKA: fotolitografická maska zhotovená pomocou krokovacej kamery zmenšením redukcie 1:10 a jej postupným nakrokováním

v radoch a stĺpcoch na emulzný alebo Cr substrát. Obr. 3



Obr.3 Kroková maska obvodu MHB 27128 7 maska, Al prepojenia

PRACOVNÁ MASKA: Je to kontaktná kópia zhotovená z krokovanej masky. Bola to maska ktorá sa bežne používala vo fotolitografii.

PELIKULA: Ochranná fólia nalepená na Al rámčeku cca 6mm nad kresbou masky, ktorá chránila masku pred priamym znečistením. Nečistota na fólii sa pri projekcii zobrazí mimo obrazovú rovinu expozície. Jedná sa o tenký polymér hrúbky cca 1um, ktorý má maximálnu priepustnosť pre danú vlnovú dĺžku.

História vývoja a výroby masiek v TESLE Piešťany

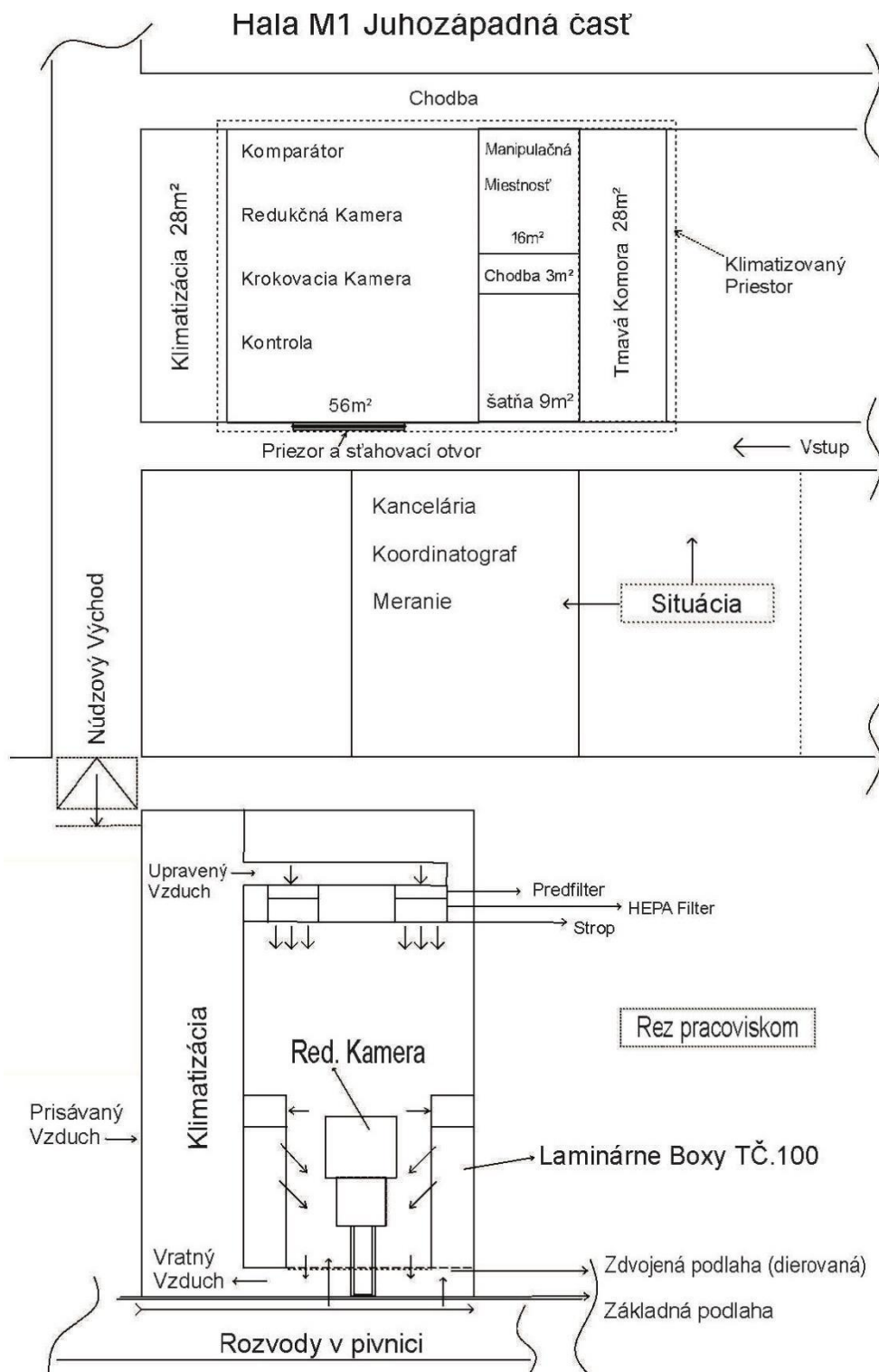
V roku 1964 bolo rozhodnuté o zriadení vývojového oddelenia v TESLE Piešťany. Pre účely vývojového oddelenia bol daný k dispozícii rodinný dvojdom v areáli budovy bývalého ONV, v ktorom už v tom čase prebiehala výroba elektróniek presunutá z TESLY Rožnova. Po stavebných úpravách na dvojdomu koncom roka 1966 a začiatkom roka 1967 boli

na prízemí nainštalované zariadenia pre fotolitografiu dovezené z Rožnova a začal sa vývoj spínacej diódy a varikapu na Si doskách o priemere 25 mm. Prvotné masky boli dodané z Rožnova s tým, že TESLA Rožnov súhlasila s možnosťou ich kontaktného kopírovania na VaV TESLY Piešťany. K tomuto účelu bola daná k dispozícii kúpeľňa na prvom poschodí dvojdomu s médiami: deionizovaná voda (demi H_2O), dusík (N_2) a vákuum. Vo vývojovej dielni bola vyrobená prvá kontaktná kopírovačka, kde sa vytváral kontakt pomocou vákua. Na kopírovanie masiek sa používal fotomateriál ORWO WOLFEN FU5 ktorý bol rezaný z dodávaných platní 90x120 mm na rozmer 45x60 mm. Jednalo sa o vysokokontrastný materiál Hr 1,7 mm nesenzibilný s kontrastom väčším ako 5, rozlišovacia schopnosť min. 300 čiar/mm. Koncom roka 1967 boli vyrábané vlastné masky pomocou upraveného fotoaparátu FLEXARET fotografovaním celého funkčného poľa Si dosky ktoré bolo narysované tušom na materiál astralon (masky pre tranzistor a diac s veľkosťou čipu 3x3 mm). Spínacia dióda a varikap mali veľkosť čipu 1x1mm a boli krokované v ose x a y v Rožnove z redukcie 10:1. Koncom roka 1968 bola krokovacia kamera v Rožnove vyradená a privezená do Piešťan kde bola nainštalovaná v novom závode. Do Rožnova bol dodaný prototyp novej krokovacej kamery z TESLY Elstroj Praha. Pri týchto začiatkoch prevádzky VaV sa nedá hovoriť o čistom prostredí a o polovodičovej hygiene, pretože sa všetky operácie prevádzali v prírodnej atmosfére rodinného dvojdomu. Výsledky sa ale dostavili, pretože sa jednalo o najjednoduchšie prvky s veľkosťou čipu 1x1 mm a s minimálnou štruktúrou 90 μm . Bolo to vlastne overovanie technologických postupov, bez ohľadu na tzv výťažnosť. Priestory pre ďalší rozvoj VaV boli vybudované v novom závode v hermetizovanej hale M1 a presťahovanie sa uskutočnilo koncom roka 1968. Hala M1 bol klasický betónový podpivničený skelet s oceľovosklenenými priečkami a výškou 7 m. Prívod a odvod vzduchu, ktorý bol čiastočne upravený a filtrovaný sa privádzal stropom s výmenou cca 50x za hod. Najmenší priestorový modul bol 3,5x8 m, tzv. výrobný vývojový priestory boli násobkom tohto modulu. Pre kopírovanie masiek bola k dispozícii tzv. tmavá komora, ktorá bola pôvodne určená pre potreby chemického laboratória. Jednalo sa o polovičný modul t.j. 3,5x4 m, ktorá slúžila pre kopírovanie masiek. Pre návrh,

kontrolu a výrobu krokovaných masiek bol určený modul 3,5x8 m, ktorý bol svojpomocne upravený pre dané potreby. Bol rozdelený na tri časti: vstupná šatňa, kontrola, meranie, krokovanie a tmavá komora pre vlastný vývoj. Steny boli obložené sololitom, strop bol vo výške 3,5 m a prívod vzduchu bol filtrovaný fironom. Do týchto priestorov bola nainštalovaná krokovacia kamera ktorú vyradili v Rožnove. Jednalo sa o kameru 1:10, použité redukcie 2 x 2 inch s možnosťou krokovať naraz 6 masiek do max. pola 40 x 40 mm s max plochou čipu 3 x 3 mm, presnosti pozíciovania plus~minus 1,5 µm, pôvod NDR. Používanie tejto kamery malo problémy v tom, že objektívy boli nevyvážené (skreslenie) a ďalší problém bol s ukladáním redukcí (natočenie). Pre potreby výroby krokovaných masiek sa začali používať sklenené emulzné substráty od fy Agfa Gevaert Millimask platte: Sodovápenaté sklo, negatívny proces, halogenid striebra, rozlíšenie 3000 čiar/mm, kontrast min 5, zrno 0,04 µm. Horeuvedené tzv. čisté priestory však naďalej nevyhovovali požiadavkám ktoré boli kladené na výrobu, najmä z hľadiska čistoty. Úplne iný pohľad nastal na výrobu masiek s príchodom nového riaditeľa Ing Petra Pfliegela, ktorý bol nadšencom nových technológií a aj pomocou neho sa podarilo presadiť, aby boli pre potreby masiek v roku 1973 vybudované čisté priestory, ktoré budú spĺňať potrebné požiadavky, pretože sa už začalo jednať o presune technológie MOS IO z TESLY VÚST, Praha.

Návrh pracoviska a spôsob realizácie bol kompletne navrhnutý pracovníkmi výroby masiek. Projekt a realizáciu zabezpečovala TESLA Piešťany. Zadanie pre potreby masiek bolo: Vlastná klimatizačná jednotka s úpravou vzduchu, čerpaného z hermetizovanej haly M1, ktorý bude dodávaný do deleného stropu, odkiaľ cez HEPA filtre s predfiltráciou z fironu bude vháňaný do čistého priestoru (ČP) pracoviska masiek. HEPA filtre veľkosti 900x700x200 mm boli v tom čase už dostupné a zaručovali filtráciu 99,97 % pre častice 0,5 µm. Výmena vzduchu viac ako 100x za hod. Rýchlosť cca 0,5 m/sek. Spätný chod vzduchu zaisťovala zdvojená podlaha výška 0,6 m. Požadovaná teplota: 22 C° ±0,5 C° a relatívna vlhkosť 50-60 %. Steny boli z drevotriesky, otapetované umývateľnou tapetou. Zdvojená podlaha nosnosti 900 kg/m² bola s antistatickou úpravou.

Pri výstavbe ČP dochádzalo k trápnyim situáciám, napr. pracovníci ktorí montovali stropnú časť začali s montážou HEPA filtrov, ktoré vytiahli z igelitu a urobili si z nich pochôdzkové lešenie. Samozrejme filtre museli byť demontované a nahradené novými, ktoré boli namontované ako posledné, po dôkladnom vyčistení priestoru. Po dokončení, spustení a po testoch sa ukázalo že ČP vyhovujú vtedajšej norme platnej pre ČP: US FED STD 209E CL. 100 s veľkosťou častíc max. $0,5\text{ }\mu\text{m}$ a počtom 100 častíc v kubickej stope ($1\text{cubic foot}=28,3\text{lt}$). Dnes už táto norma neplatí, bola nahradená novou od r. 2004 ďaleko prísnejšou ISO 14644-1 pre častice $0,1\text{ }\mu\text{m}$ nie v cubic feet. ale v m^3 . Schéma pracoviska je na obr 4, kde je vidieť situáciu a principiálny rez pracoviskom.



8

Obr. 4 Klimatizovaná časť haly M1 pre pracovisko masiek – Schéma, situácia a principiálny rez

Pracovisko bolo postupne vybavené laminárnymi boxami TČ 100 a začiatkom roka 1974, po dodaní redukčnej kamery TD 311 s panelom

1200x1200 mm, krokovacej kamery TD 310 z TESLY Elstroj a porovnávacieho mikroskopu MWG 7x7 LEITZ z NSR bola zahájená výroba emulzných masiek na substrátoch Millimask Platte 2x2-4x4 inch. Rubylithove predlohy boli dodávané z TESLY VÚST v rámci štátnej úlohy, ktorej výstupom bolo zaviesť v Tesle Piešťany do výroby technológiu MOS. Počas preberania technológie MOS bolo zistené, že TESLA VÚST vyradila nepotrebný ručný zapisovací koordinátograf ktorý za odvoz darovala do Piešťan na ktorom sa mali odlupovať narezané rubylithy. Nakoľko sa jednalo o zariadenie s presným H-stolíkom tento bol pracovníkmi masiek upravený na rezanie. Rezanie sa robilo v ose x a y, šikmé čiary sa robili ručne. Rezanie sa realizovalo stlačením prepínača do osy x pričom sa nožik natočil do osy x a spustil sa nastavenou silou na rubylith, osa y bola zablokovávaná. Na tomto zariadení bolo celkom vyrobených cca 400 predlôh (40 typov IO ktoré neboli ekvivalenty) a rovnaké množstvo predlôh pre diódy a tranzistory. Vybudované ČP pre pracovisko masiek boli prvé ČP v Tesle Piešťany.

Charakteristika emulzných masiek:

Výhody: Jednoduché spracovanie pri červenom osvetlení. Vysoká rozlišovacia schopnosť. Lacné substráty od fy. Agfa Gevaert.

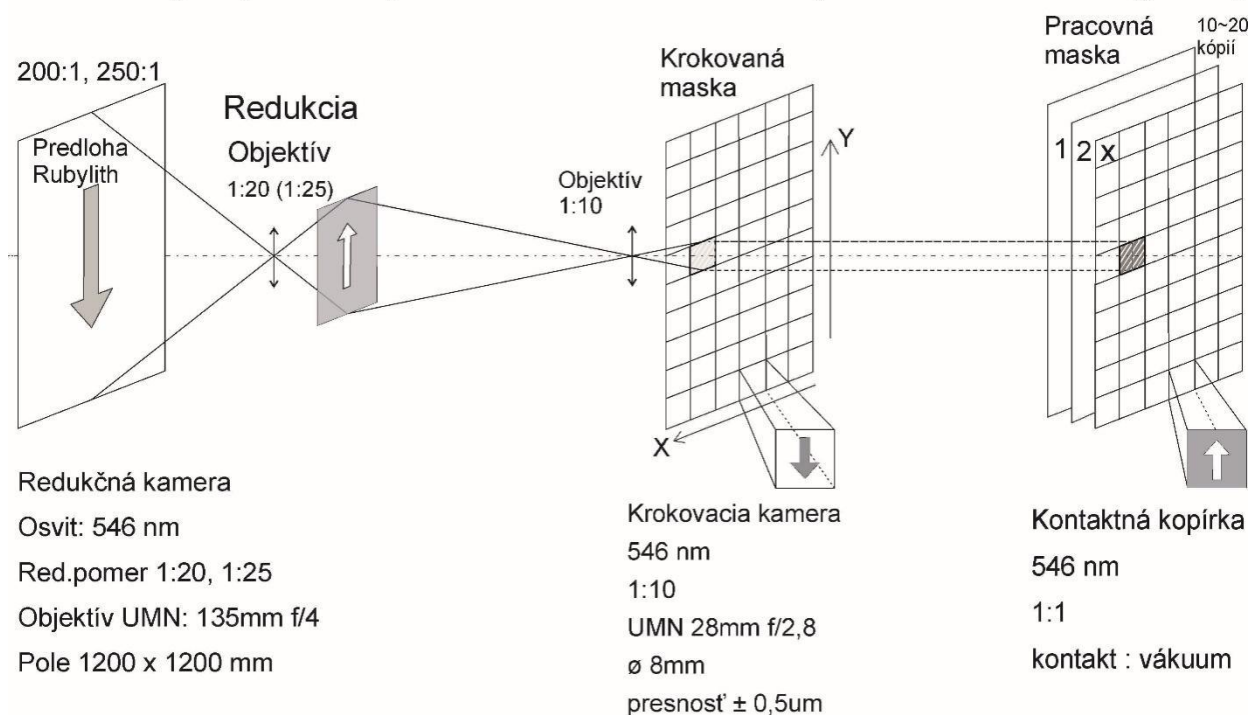
Nevýhody: Pri fotolitografickom kontaktnom prenose obrazu dochádzalo k poruchám (oter pri orientovaní). Komplikované medzioperačné čistenie (iba slabý prúd demi H₂O). Oprava defektov bola takmer nemožná, okrem retuše dier na redukciách, ktoré boli 10x väčšie, min detail 5μm.

Tu je potrebné uviesť si, že výroba redukcie bola veľmi komplikovaná, lebo musela byť vlastne ideálna bez akejkoľvek poruchy, ktorá by sa rozkrokovala do každého čipu krokovanej masky. Tým by bola znehodnotená ďalšia výroba. Redukcie sa preto vyrábali vo zvláštnom režime, vždy ráno, maximálny počet pracovníkov 3 pracovníci, nové chemikálie, filtrácia demi H₂O filtre Millipore 0,2 μm. Samotná kontrola bola veľmi pracná a zdĺhavá pod mikroskopom skenovaním celej plochy nezávisle dvomi pracovníkmi pri špeciálnom hornom a dolnom osvetlení. Pre výrobu Cr redukcií bol dohodnutý postup kopírovania do Cr substrátu

pretože chrómová vrstva sa dala opravovať (lokálne odleptať prípadné zbytky Cr a lokálne retušovať diery v Cr) K tomuto účelu bola na

pracovisku masiek skonštruovaná a v TESLE Piešťany vyrobená kontaktná kopírka s možnosťou kopírovať emulznú redukciu do Cr substrátu. Ako zdroj osvetlenia bol použitý osvetľovač Zeiss Jena s 200W HBO výbojkou. Kondenzor fí 75 mm pre pole 50 x 50 mm bol spolu s farebnými filterami 546 nm, 436 nm a 405nm dodaný z Meopty Přerov. Unikátom kopírky bol systém s dvoma nezávislými vákuovými rozvodmi. Jedno vákuum pre upínanie originálu, kópie a výmenných držiakov 2 x 2 a 2,5 x 2,5 inch. Druhé vákuum bolo pracovné s možnosťou nastavenia jeho výšky a s preplachom komory pri zavzdušnení dusíkom. Navyše bolo možné v červenom svetle pozorovať kvalitu kontaktu Newtonovými pruhmi. Kopírka sa používala až do roku 1992 po rekonštrukcii na 3 x 3 a 3,5 x 3,5 inch. Na obr.5 je principiálne znázornený postup výroby emulzných masiek.

Schéma výroby emulzných masiek v Tesle Piešťany 1974 - Proces : negatívny



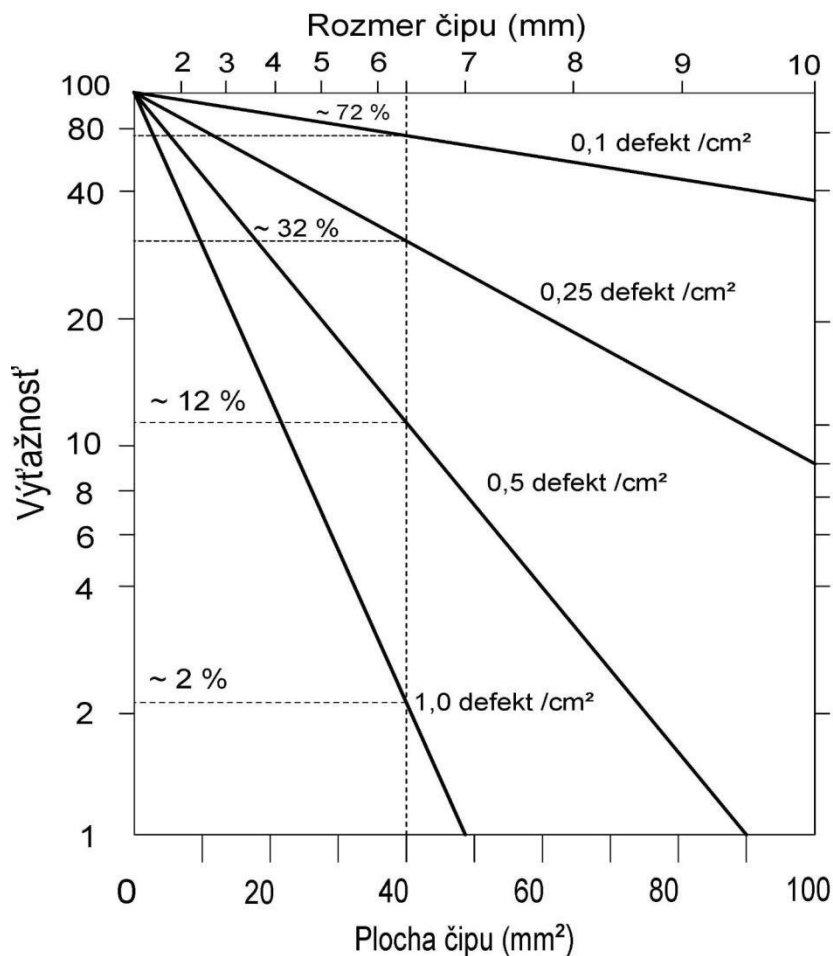
Substráty: milimask platte 2 x 2 a 3 x 3 inch; Rozlíšenie 3000 č./mm
sodovápenaté sklo, emulzia: Halogenid Ag; kontrast >5; zrno: 0,04um

Obr.5 Schéma princípu a postupu výroby emulzných masiek

Vyššie popísaný systém mal výhodu v tom, že zrkadlenie pri ďalšom kopírovaní sa jednoducho odstránilo fotografovaním predlohy jej jednoduchým otočením.

Kvalita vyrobených masiek mala rozhodujúci vplyv na výťažnosti pri spracovaní na Si doskách vo fotolitografii, ako ukazuje obr.6. Táto jednoduchá schéma ukazuje vplyv fatálnej chyby na celkovú výťažnosť procesu, pri 10-násobnom maskovaní, t.j. 10 úrovni a štvorcový čip. /Fatálnou chybou sa rozumie prerušenie alebo premostenie dvoch útvarov./

Vplyv počtu defektov na maske na výťažnosť
pri 10-násobnom maskovaní (10 úrovní, štvorcový čip)



Obr.6 Graf vplyvu počtu defektov (fatálnych chýb) na celkovú výťažnosť procesu pri 10-násobnom maskovaní (10 úrovní štvorcový čip)

Postupne sa začalo aj s kopírovaním emulzných originálov na Cr substráty, tzv. pracovné masky, ktoré boli na báze chrómu s antireflexnou úpravou. Nákup bol zaistený postupne z Hoya Japonsko, Balzers Lichtenstein a od r. 1983 z TESLY Rožnov, ktorá zakúpila licenciu z Balzers. V zásade boli nakupované a spracovávané substráty s naneseným pozitívnym rezistom AZ 1350, Hr. 1 μm . Expozícia svetlom Hg 405 nm. Hrúbka Cr vrstvy 0,1 μm .

Na preberanie licenčnej technológie vo fy. Toshiba v r. 1979 bol na naliehanie riaditeľa Pfliegela nominovaný aj zástupca výroby masiek, hoci

výrobu masiek mala zabezpečovať TESLA Rožnov a nominovala na to dvoch pracovníkov.

Napriek rozhodnutiu, že pre licenčnú výrobu 16kb DRAM budú masky dodávané z Rožnova bola výroba týchto masiek zavedená na pracovisku v Piešťanoch už v r. 1980, po dodaní zariadení z USA. Jednalo sa o: Krokovacia kamera DAVID MANN 3095 ktorá produkovala masky 2x2 – 5x5 inch. Presnosť 0,2 μm , absolútna presnosť menej ako 1 μm , objektív UMN 1: 10, fi 28 mm, obrazové pole 6x6 mm, expozícia 546 nm na substráty Millimask. Ďalšie zariadenia: Automatické spracovávanie Cr masiek APT 914 od fy.Applied Technology.Jednopozičiové zariadenie bolo riadené počítačom a naexponovaný Cr substrát automaticky vyvolalo,nasledoval oplach s následným vyleptaním, umytím a vysušením. Zariadenie malo univerzálny držiak na Cr substráty 2x2 až 7x7inch. Ďalej Zariadenie na čistenie Cr masiek SSEC 156 od fy.Solid State Equipment Co.Tu sa dali čistiť masky tlakom DEMI H₂O v kombinácii s rotačnou kefou 2x2 až 7x7inch s možnosťou čistenia masiek s jednostranným peliklom.A napokon, poloautomatické zariadenie na kopírovanie Cr masiek Tamarack Series 142 od fy,TAMARACK USA.Na zariadení sa kontaktne kopírovali masky 2x2 až 5x5 inch. V druhej polovici r.1980 sa uskutočnila pracovná cesta do USA ktorej sa zúčastnili zástupcovia TESLY Piešťany a TESLY Rožnov (1+1), pričom zástupcu TESLY Piešťany presadil riaditeľ Pfliegel. Cieľom bola krátka stáž vo fy. DAVID MANN, vtedy popredného výrobcu zariadení pre výrobu masiek a fy. Photronics Labs. najväčšieho výrobcu masiek a substrátov v USA. V súčasnosti po premenovaní na Photronics Inc. je táto fa. tretia na svete, čo sa týka výroby masiek. Táto cesta ovplyvnila ďalší vývoj masiek. Poznatky sa uplatnili aj pri dokončení výroby optického generátora obrazcov a hlavne vývoja kamery pre priame krokovanie z redukcie na Si dosku tzv. DSW (direct step on wafer) v TESLE Elstroj.

V roku 1985 sa rozšírila pracovná plocha o ďalších (čiastočne klimatizovaných 56 m², a o dodávky zariadení z CARL ZEISS JENA, Generátora obrazcov z TESLY Elstroj a zariadenia na opravu zbytkov Cr laserom EM 551 B z Planar Minsk.

Krokovacia kamera AER 10 na exponovanie do Cr pre výrobu krokových masiek 3x3 až 7x7 inch, presnosť 0,1 μm , automatické ostrenie 0,2 μm , objektív S Planar 1:10, obrazová pole $\varnothing$ 14 mm (max čip 10x10 mm), vlastná temperácia 0,1K, produktivita 10 masiek / hod 5x5 inch. Zdroj HBO 500W, dichroické zrkadlá. Pre 436 nm a 405 nm. Riadiaci počítač Elektronika 60E.

Porovnávací mikroskop SVG 160 - bol to mikroskop pre porovnávanie dvoch súvisiacich masiek alebo redukcií voči sebe s možnosťou ich konfrontácie s návrhom. Masky boli osvetľované farbami červená /zelená a prekryt po odfiltrovaní žltej bol čierny takže sa dal okamžite definovať defekt. Riadiaci počítač Elektronika 60E. Výstup magnetofonová páska (MG) na opravu. Táto kontrola sa zjednodušila vývojom tzv. komparačných fotografií pri ktorých sa podozrenie na poruchu konfrontovalo na mikroskope a následne sa zaznamenali koordináty. Vývojom komparačných fotografií sa veľmi zjednodušila kontrola úplnosti. Táto metóda sa používala iba v Tesle Piešťany.

Mikroskop DKG 160 - automatický mikroskop na kontrolu defektov na redukcii alebo na maske, identifikácia dier alebo zvyškov Cr. Jednalo sa o defekty spôsobené pri výrobe redukcie a o defekty spôsobené výrobou. Redukcia alebo vybraný čip sa porovnal skenovaním s dátami a zaznamenali sa koordináty kde nebola zhoda. Ak bol daný čip OK potom sa tento porovnával s ostatnými. Výstup MG páska na opravu. Riadiaci počítač Elektronika 60E.

Mikroskop BMG 160 - zariadenie na kontrolu rozmerov. Presnosť 0,1 μm , masky 2 x 2 až 7 x 7 inch.

Tu je potrebné dodať, že zariadenia z JENY okrem BMG 160 museli byť vzhľadom k otrasom inštalované tak, že otrasuvzdorný základ mali až v pivničnej podlahe.

Zariadenie na opravu masiek EM 551 B – zariadenie na základe dodaných koordinát vyhľadalo daný defekt (zbytok Cr) a tento sa po ručnom nastavení štrbiny odstránil (odparil) laserom.

Generátor obrazcov TD 282 - zariadenie vyrobené v TESLE Elstroj. Celkovo boli vyrobené dva ks. Jeden pre TESLU Rožnov a jeden pre

TESLU Piešťany. Jednalo sa o unikátne zariadenie na výrobu redukcie pomocou programovo riadenej veľmi presnej štrbiny, ktorá okrem zmeny rozmerov sa dala aj natáčať. Štrbina bola umiestnená v predmetovej rovine objektívu S Planar 1:10 a jej obraz sa premietal na krížový stolík na ktorom bol emulzný substrát. Opakovanou expozíciou premenlivej štrbiny na programovo riadený pohyb stolíka sa dal vyskladať ľubovoľný plošný motív. GO používal riadiaci počítač JPR 12-eq. PDP 8

V roku 1986 boli vyrobené masky pre CCD kameru, ktorej čip mal veľkosť 7x13 mm, tak veľké pole neumožňovalo zobraziť žiadne zariadenie (max 10x10 AER kamera). Preto sa pristúpilo k tzv. zošívaniu redukcie, t.j. najskôr sa nakrokovala pravá strana prvou redukciou a potom ľavá strana druhou redukciou. Problém výmeny redukcie sa vyriešil špeciálnymi Al, presnými rámčekmi, kde boli redukcie presne naorientované, nalepené a pomocou kolíkov uložené v predmetovej rovine AER kamery. Potom stačilo vypočítať iba posun. Oveľa väčšie problémy nastali pri výrobe redukcii pre novovyvíjaný obvod MHB 27128. Tu sa uplatnila šikvosť pracovníkov masiek, keď riadiaci počítač GO JPR 12 neprijal tak veľké dáta. Postupovalo sa nasledovne: výroba redukcie násobku buniek pamäti v merítku 100:1, potom nakrokovanie celého pamäťového funkčného poľa v merítku 10:1, čím vznikla prvá redukcia a druhú redukciiu tvorili periférne obvody. Potom postup ako u CCD.

V roku 1987, po uskutočnenej pracovnej ceste do závodu Planar Minsk boli objednané laserové Generátory obrazcov, EM 5009 a EM 559 BM.

V roku 1988 výroba masiek kvalitatívne predbehla výrobu v TESLE Rožnov a v TESLE VÚST preto bolo rozhodnuté sústrediť výrobu krokových masiek do TESLY Piešťany. TESLA Piešťany sa stala Československým výrobcom krokových masiek pre VLSI obvody.

Komplikácia na pracovisku výroby masiek nastala s príchodom laserových generátorov z Planaru Minsk keď bolo vtedajším novým vedením oznámené, že ich nie je kam inštalovať, pretože hospodárske stredisko susediace s ČP pre masky odmietlo uvoľniť požadovaných cca 30 m².

Pomohol znovu Ing. Pfliegel, ktorý ako dôchodca od r. 1986 pracoval v Centre elektro-fyzikálneho výskumu SAV (riaditeľom bol akademik prof. Oldrich Benda) v budove M3. Ing. Pfliegel sa dohodol s riaditeľom SAV o poskytnutí potrebných priestorov s tým, že tieto budú svojpomocne upravené pracovníkmi výroby masiek. Jednalo sa o miesto na 3 poschodí, kde bola umiestnená klimatizačná jednotka, vzduch bol vháňaný bočne a odsávaný zdvojenou podlahou. V druhej polovici roka 1987 boli zariadenia oživené a používané.

Generátor obrazcov EM 5009 bolo zariadenie, ktoré vyrábalo redukcie priamym kreslením na Cr substrát pokrytý elektronovým rezistom. Laserový skenovací generátor s presnosťou 0,5 μm , vstupné dáta vo formáte MANN 3000 PAT, vlnová dĺžka laseru 355 nm, max. výkon 1,6 x 10.6 exp/hod, min rozmer 0,6 μm . Exponovanie poľa 100x100 mm za 70 min., veľkosti substrátov 3 x 3 – 5 x 5 inch.

Generátor obrazcov EM 559 BM. Pravouhlé razítko s presnosťou 0,6 μm , vlnová dĺžka lasera 355 nm, max výkon 8000 xp/hod., vektorový systém exponovania. Problémom pri výrobe redukcí bolo prenášanie exponovaných substrátov do ČP v M1 kde sa potom spracovávali.

Do ČP v M1 bolo dodané aj zariadenie na kopírovanie masiek kontaktným spôsobom TD 482 z TESLY Elstroj pre Cr substráty veľkosti 3 x 3 - 7 x 7 inch.

V roku 1989 bolo dodané zariadenie od fy. Quantronics DRS 840. Jednalo sa o zariadenie pre poloautomatickú opravu masiek a redukcí pomocou laserov, pričom toto bolo spárované s výstupom zo zariadení SVG 160 a DKG 160. Zariadenie automaticky našlo poruchy pomocou získaných súradníc z SVG a DKG a laserom ND: YAG 532 nm bolo možné odprášiť zvyšky Cr. Prípadné diery (pinholes) v Cr vrstve boli naprášené Ar laserom 488 nm z plynného Cr/CO/6. Oživovanie tohto zariadenia prebiehalo počas štrngotania kľúčmi (koniec novembra, 1989) a počas demonštrácii v TESLE Piešťany. Technik, ktorý zariadenie oživoval hovoril, že je to druhý kus v Europe. Prvé oživoval vo Francii a na ďalšie sa chystal v r 1990 v NSR.

Inštaláciou zariadenia DRS 840 sa stala výroba masiek v Tesle Piešťany jednou z popredných výrobní v Európe. Vyrobené vzorky masiek boli postupne rozoslané do závodu Mikroprocesor Kiev, Ivanofrankovska a do firmy Neuhaus NDR. Po kladných ohlasoch k ďalším dodávkam už neprišlo, pretože nastal revolučný rok.

Začiatkom roka 1990 boli podľa poznatkov z fy. Photronics Inc. vypracované Technické podmienky na vyrábané masky a na špeciálne štruktúry, ktoré na 20-tych stranách popisovali možnosti dodávok od objednávky, vstupných dát, základných parametrov obvodu a topológie obvodu. TP boli vypracované v slovenskom, nemeckom a v anglickom jazyku.

Krátka špecifikácia masiek: rozmer 2 x 2 – 7 x 7 inch, najmenší kritický rozmer 1,5 μm , chyba kritického rozmeru 0,2 μm 3 sigma, súkryt 0,3 μm 3 sigma, run out max 0,5 μm 3 sigma, defekty 96 % bez defektov väčších ako 1,5 μm , veľkosť čipu 10x10 mm max. TP boli vydané pre všetky vtedajšie fotolitografické prenosy, t.j. redukcie 1:10, 1:5, 1:4, viacnásobne redukcie - pre využitie max. obrazového poľa a masky 1:1 kontakt, proximity a scan, napr. Perkin Elmer. Pre posledne menované boli ponúkané jednostranné ako aj dvojstranné pelikuly. Schéma výroby masiek v Tesle Piešťany z r.1990 je na obr.7.

The flowchart illustrates the technological process for mask production, starting from the design and ending with the final exposure. The process involves multiple stages of reduction, control, and preparation.

```

graph TD
    A["Návrh D, Tr, IO  
200:1  
250:1"] --> B["Výkresy úrovňí  
200:1  
250:1"]
    B --> C["Kontrola úplnosti"]
    B --> D["Príprava dát  
GO LASER  
PLOTTER  
Opt.G.O."]
    D --> E["PLOTTER  
REZANIE A ODLUP  
RUBILITH 200:1 250:1"]
    E --> F["Predloha RUBILITH  
200:1 250:1"]
    F --> G["Redukčná Kamera  
1:20 1:25"]
    G --> H["Redukcia Cr Em 1:10"]
    H --> I["Krokovácia Kamera 1:10"]
    I --> J["Krokována Maska 1:1"]
    J --> K["Kontaktná Kopírka"]
    K --> L["Pracovná Maska 1:1"]
    L --> M["Kontrola"]
    M --> N["Kontaktná Expozička"]
    M --> O["Kontrola Oprava"]
    O --> C
    O --> J
    O --> K
    O --> L
    O --> M
    O --> N
    O --> P["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> Q["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> R["Proximity Expozička"]
    O --> S["Kontrola úplnosti"]
    O --> T["Kontrola"]
    O --> U["Kontaktná Expozička"]
    O --> V["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> W["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> X["Proximity Expozička"]
    O --> Y["Kontrola úplnosti"]
    O --> Z["Kontrola"]
    O --> AA["Kontaktná Expozička"]
    O --> AB["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> AC["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> AD["Proximity Expozička"]
    O --> AE["Kontrola úplnosti"]
    O --> AF["Kontrola"]
    O --> AG["Kontaktná Expozička"]
    O --> AH["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> AI["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> AJ["Proximity Expozička"]
    O --> AK["Kontrola úplnosti"]
    O --> AL["Kontrola"]
    O --> AM["Kontaktná Expozička"]
    O --> AN["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> AO["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> AP["Proximity Expozička"]
    O --> AQ["Kontrola úplnosti"]
    O --> AR["Kontrola"]
    O --> AS["Kontaktná Expozička"]
    O --> AT["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> AU["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> AV["Proximity Expozička"]
    O --> AW["Kontrola úplnosti"]
    O --> AX["Kontrola"]
    O --> AY["Kontaktná Expozička"]
    O --> AZ["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> BA["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> BB["Proximity Expozička"]
    O --> BC["Kontrola úplnosti"]
    O --> BD["Kontrola"]
    O --> BE["Kontaktná Expozička"]
    O --> BF["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> BG["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> BH["Proximity Expozička"]
    O --> BI["Kontrola úplnosti"]
    O --> BJ["Kontrola"]
    O --> BK["Kontaktná Expozička"]
    O --> BL["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> BM["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> BN["Proximity Expozička"]
    O --> BO["Kontrola úplnosti"]
    O --> BP["Kontrola"]
    O --> BQ["Kontaktná Expozička"]
    O --> BR["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> BS["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> BT["Proximity Expozička"]
    O --> BU["Kontrola úplnosti"]
    O --> BV["Kontrola"]
    O --> BW["Kontaktná Expozička"]
    O --> BX["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> BY["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> BZ["Proximity Expozička"]
    O --> CA["Kontrola úplnosti"]
    O --> CB["Kontrola"]
    O --> CC["Kontaktná Expozička"]
    O --> CD["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CE["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CF["Proximity Expozička"]
    O --> CG["Kontrola úplnosti"]
    O --> CH["Kontrola"]
    O --> CI["Kontaktná Expozička"]
    O --> CJ["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CK["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CL["Proximity Expozička"]
    O --> CM["Kontrola úplnosti"]
    O --> CN["Kontrola"]
    O --> CO["Kontaktná Expozička"]
    O --> CP["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CQ["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CR["Proximity Expozička"]
    O --> CS["Kontrola úplnosti"]
    O --> CT["Kontrola"]
    O --> CU["Kontaktná Expozička"]
    O --> CV["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CW["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CX["Proximity Expozička"]
    O --> CY["Kontrola úplnosti"]
    O --> CZ["Kontrola"]
    O --> CA1["Kontaktná Expozička"]
    O --> CB1["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CC1["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CD1["Proximity Expozička"]
    O --> CE1["Kontrola úplnosti"]
    O --> CF1["Kontrola"]
    O --> CG1["Kontaktná Expozička"]
    O --> CH1["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CI1["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CJ1["Proximity Expozička"]
    O --> CK1["Kontrola úplnosti"]
    O --> CL1["Kontrola"]
    O --> CM1["Kontaktná Expozička"]
    O --> CN1["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CO1["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CP1["Proximity Expozička"]
    O --> CQ1["Kontrola úplnosti"]
    O --> CR1["Kontrola"]
    O --> CS1["Kontaktná Expozička"]
    O --> CT1["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CU1["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CV1["Proximity Expozička"]
    O --> CW1["Kontrola úplnosti"]
    O --> CX1["Kontrola"]
    O --> CY1["Kontaktná Expozička"]
    O --> CZ1["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CA2["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CB2["Proximity Expozička"]
    O --> CC2["Kontrola úplnosti"]
    O --> CD2["Kontrola"]
    O --> CE2["Kontaktná Expozička"]
    O --> CF2["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CG2["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CH2["Proximity Expozička"]
    O --> CI2["Kontrola úplnosti"]
    O --> CJ2["Kontrola"]
    O --> CK2["Kontaktná Expozička"]
    O --> CL2["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CM2["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CN2["Proximity Expozička"]
    O --> CO2["Kontrola úplnosti"]
    O --> CP2["Kontrola"]
    O --> CQ2["Kontaktná Expozička"]
    O --> CR2["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CS2["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CT2["Proximity Expozička"]
    O --> CU2["Kontrola úplnosti"]
    O --> CV2["Kontrola"]
    O --> CW2["Kontaktná Expozička"]
    O --> CX2["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CY2["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CZ2["Proximity Expozička"]
    O --> CA3["Kontrola úplnosti"]
    O --> CB3["Kontrola"]
    O --> CC3["Kontaktná Expozička"]
    O --> CD3["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CE3["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CF3["Proximity Expozička"]
    O --> CG3["Kontrola úplnosti"]
    O --> CH3["Kontrola"]
    O --> CI3["Kontaktná Expozička"]
    O --> CJ3["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CK3["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CL3["Proximity Expozička"]
    O --> CM3["Kontrola úplnosti"]
    O --> CN3["Kontrola"]
    O --> CO3["Kontaktná Expozička"]
    O --> CP3["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CQ3["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CR3["Proximity Expozička"]
    O --> CS3["Kontrola úplnosti"]
    O --> CT3["Kontrola"]
    O --> CU3["Kontaktná Expozička"]
    O --> CV3["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CW3["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CX3["Proximity Expozička"]
    O --> CY3["Kontrola úplnosti"]
    O --> CZ3["Kontrola"]
    O --> CA4["Kontaktná Expozička"]
    O --> CB4["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CC4["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CD4["Proximity Expozička"]
    O --> CE4["Kontrola úplnosti"]
    O --> CF4["Kontrola"]
    O --> CG4["Kontaktná Expozička"]
    O --> CH4["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CI4["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CJ4["Proximity Expozička"]
    O --> CK4["Kontrola úplnosti"]
    O --> CL4["Kontrola"]
    O --> CM4["Kontaktná Expozička"]
    O --> CN4["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CO4["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CP4["Proximity Expozička"]
    O --> CQ4["Kontrola úplnosti"]
    O --> CR4["Kontrola"]
    O --> CS4["Kontaktná Expozička"]
    O --> CT4["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CU4["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CV4["Proximity Expozička"]
    O --> CW4["Kontrola úplnosti"]
    O --> CX4["Kontrola"]
    O --> CY4["Kontaktná Expozička"]
    O --> CZ4["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CA5["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CB5["Proximity Expozička"]
    O --> CC5["Kontrola úplnosti"]
    O --> CD5["Kontrola"]
    O --> CE5["Kontaktná Expozička"]
    O --> CF5["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CG5["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CH5["Proximity Expozička"]
    O --> CI5["Kontrola úplnosti"]
    O --> CJ5["Kontrola"]
    O --> CK5["Kontaktná Expozička"]
    O --> CL5["Projekčná Expozička 1:x"]
    O --> CM5["Projekčná Expozička 1:1"]
    O --> CN5["Proximity Expozička"]
    O --> CO5["Kontrola úplnosti"]
    O --> CP5["Kontrola"]
    O --> CQ5["Kontaktná Expozička"]
    O --> CR5["Projekčná Expozička 1:x
```

Obr.7 Schéma výroby masiek po r.1990. Čiarkovane je vyznačená pripravovaná možnosť výroby masiek so striedavým fázovým posunom.

Roky 1991-1993 Roky chaosu a začiatok konca Tesly Piešťany.

Vystriedali sa traja riaditelia, každý z nich mal svoje predstavy, svojich poradcov a známych, každý robil nové reorganizácie, nastupovala tzv. nová krv. Začali sa prehodnocovať ľudia ale nie, kto čo a ako urobil, ale kto bol v strane a kto bol stará štruktúra. Prestal sa úplne používať sedliacky rozum každý mal svoju pravdu. VaV muselo na príkaz riaditeľa v r. 1991 odovzdať do novovznikajúcej výroby kľúčové zariadenia, ktoré ako sa neskôr ukázalo ani neboli všetky nainštalované. Pracovníci výroby masiek v rámci reorganizácie museli uvoľniť kancelárske priestory v M1 pre ČP a museli sa presťahovať do tzv. predvýroby. Aby sa nemusela obchádzať v rámci dochádzky na pracovisko celá hala M1 bol otvorený núdzový východ obr.4, ktorý však používal každý kto chcel.

Vzhľadom ku skutočnosti, že na VaV ani vo výrobe nebolo v tom čase žiadne expozičné zariadenie, ktoré by pracovalo v projekčnom režime a výrobný úsek nešťastne zakúpil kontaktné expozičky Suss MJB 56, ktoré mali nahradiť licenčné zariadenia Canon, rozhodlo sa o nákupe zariadenia od Zeiss Jena AUR 2.

Bola to krokovacia expozička DSW /direc step on wafer/ na Si dosky fi 3-6 inch s redukčným pomerom 1:5, objektív S-planar 0,28 rozlíšenie 1 μm , ex.vlnová dĺžka 436 nm. Presnosť exponovania 0,1 μm s expozičným poľom 15 x 15 mm. Zariadenie bolo nainštalované v ČP SAV budova M3, prízemie. Obsluhu zabezpečovali pracovníci masiek. Na AUR 2 boli úspešne realizované štruktúry 1 μm v rôznych vrstvách.

Začiatkom roka 1992 počas druhej návštevy zástupcov firmy Motorola bolo oznámené, že firma nemá záujem o pracovisko masiek, bez toho, aby toto pracovisko navštívili, hoci chodili po celej TESLE. Pri ponuke Technických podmienok na masky si tieto neprevzali. (asi im to vtedajší poradcovia z TESLY Piešťany neodporučili) O to väčšie prekvapenie bolo keď sa rozbehla výroba v ON SEMI na expozičkách Perkin Elmer, kde sa používali masky, ktoré by boli úspešne vyrobené aj v TESLE. Masky 5 x 5 inch štruktúra 4 μm obojstranný pelikel. Výroba masiek bola zastavená v r.1993 po odstavení médií.

Iniciatíva pracovníkov výroby masiek okrem výroby masiek.

Spolupráca na vývoji CCD kamery MHB 256

Spolupráca na vývoji CCD kamery MHB 384

Spolupráca na zabezpečení prototypovej série CCD MHB 384 v počte 30ks

Spolupráca pri inštalovaní 9ks kamier MHB 384 s aut. objektívom a s aut. spracovaním obrazu v novozriadenej klenotnici Slovenska na Bratislavskom hrade. Jednalo sa o zabezpečenie ochrany exponátov.

Vlastný vývoj 2ks farebných kamier pomocou trichroického hranolu, ktorý rozdeľoval obraz na 3 základné farby /červená, modrá a zelená/.

Spolupráca na automatickom zariadení Telemet-aut na meranie mikroštruktúr (Národná cena SR)

Vývoj a realizácia kontaktnej kopírky.

Spolupráca pri vývoji elektronických predradníkov.

Spolupráca na vývoji a výroba čítačky pre slabozrakých, na báze CCD kamery s premenlivým zväčšením v počte 5ks.

Spolupráca pri montáži el. predradníkov vo výrobní cigariet v Spišskej Belej.

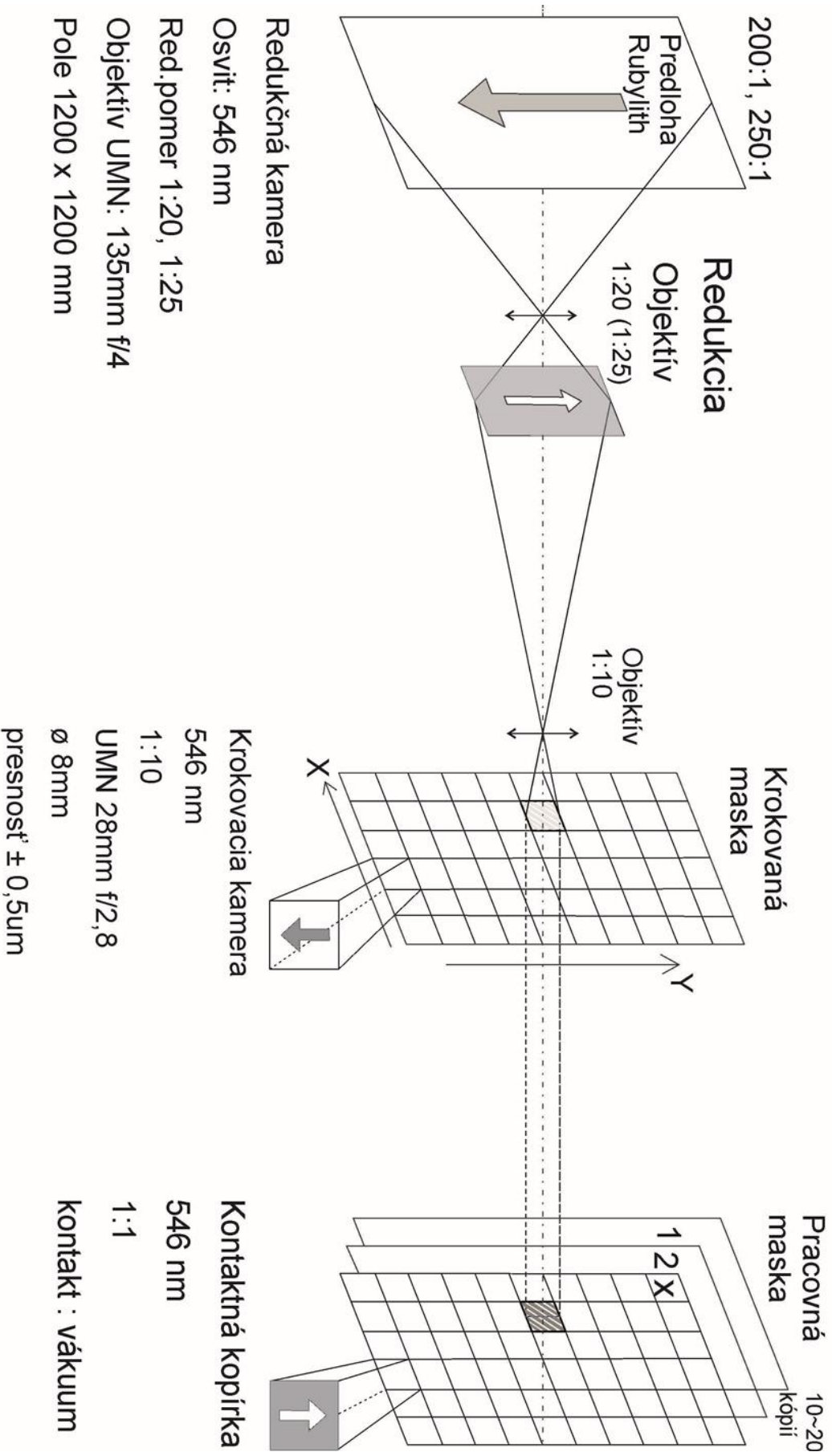
Zapísal: Anton Halama 2023

Ing Anton Halama

anton.halama gmail.com

Anton Halama /1943/ vyštudoval v rokoch 1961-1967 odbor: jemná mechanika a optika na ČVUT Praha. V rokoch 1967-1993 pracoval v TESLE Piešťany ako vývojový pracovník zodpovedný za vývoj a výrobu fotolitografických masiek. Od roku 1990 do 1993 aj ako zástupca vedúceho oddelenia vývoja a výskumu. Od roku 1993 do 1996 ako člen predstavenstva TESLY Piešťany a.s. V rokoch 1996 do 2004 ako riaditeľ správy majetku, počas trvania konkurzného konania na TESLE Piešťany.

Schéma výroby emulzných masiek v Tesle Piešťany 1974 - Proces : negatívny



Substráty: milimask platte 2 x 2 a 3 x 3 inch; Rozlíšenie 3000 č./mm
sodovápenaté sklo, emulzia: Halogenid Ag; kontrast >5; zrno: 0,04um

Obr.5 Schéma princípu a postupu výroby emulzných masiek