

Wydawanie poleceń w programie MAGIC

*Opis dotyczy wersji skompilowanej pod systemem Ultrix, skróty i polecenia pod Cygwin mogą się nieznacznie różnić.
Użyta technologia standardowa SCMOS – dla innych plików technologicznych nazwy warstw i ich występowanie mogą być inne.*

W programie MAGIC rozróżnia się dwa rodzaje poleceń: krótkie i długie. Polecenia krótkie (nazywane także MACRO) wykonuje się poprzez naciśnięcie pojedynczego klawisza odpowiadającego danemu działaniu. Polecenia długie wydaje się poprzez napisanie dwukropka ':' lub średnika ';' oraz nazwy polecenia wraz z parametrami a następnie naciśnięcie klawisza 'ENTER'. Polecenia długie i ich parametry można wywoływać stosując skróty o ile taki skrót jednoznacznie określa dane polecenie lub parametr. Warunkiem wykonania polecenia zarówno długiego jak i krótkiego jest umieszczenie kursora w obrębie aktywnego okna graficznego. Litery duże i małe są rozróżniane. Lista dostępnych poleceń wraz z krótkim ich opisem zamieszczona jest poniżej.

1) Uruchomienie programu

magic lub **magic projekt** lub **magic -Tech-file** gdzie: *projekt* jest nazwą pliku który jest automatycznie wczytywany do programu, *tech-file* jest nazwą innego niż standardowy zbioru technologicznego..

Polecenia długie:

:help <i>przedmiot</i>	- wyświetlenie pomocy na temat <i>przedmiotu</i>
:save [<i>plik</i>]	- zapisanie na dysku w <i>pliku</i> aktualnie edytowanej komórki, standardowo przyjmowana jest nazwa ostatnio używana
:load <i>plik</i>	- odczytanie z dysku <i>pliku</i> do edycji
:quit	- zakończenie pracy z programem

2) Rysowanie i zaznaczanie elementów / warstw

Polecenia długie:

:box	- wyświetla informacje o wymiarach i położeniu boxu (możliwe jest również utworzenie boxu o zadanych wymiarach i położeniu)
:clockwise [<i>stopnie</i>]	- obrót wokół dolnego lewego narożnika. <i>Stopnie</i> muszą być wielokrotnością 90, standardowo przyjmowane jest 90.
:copy	- skopiowanie zaznaczonego elementu wraz z boxem tak, że dolny lewy róg boxu znajduje się w nowej pozycji kursora
:delete	- usunięcie wszystkiego co zostało wcześniej zaznaczone
:erase <i>warstwa</i>	- wymazanie <i>warstwy</i> z obszaru objętego boxem
:erase labels	- usunięcie etykiet z obszaru objętego boxem
:findbox [<i>zoom</i>]	- przesunięcie ekranu tak aby zaznaczony fragment znalazł się na środku, z parametrem zoom powiększa zaznaczony fragment na cały ekran
:grid [<i>odstepy</i>]	- wyświetlanie siatki o zadanych <i>odstepach</i> , standardowo przyjmowana jest wartość jeden. Polecenie grid bez parametrów powoduje kolejno włączanie i wyłączanie siatki
:label <i>tekst</i> [<i>poz</i> [<i>war</i>]]	- przyporządkowanie etykiety miejscu umieszczonemu pod krzyżykiem. Aby uzyskać krzyżyk należy przycisnąć najpierw lewy a później prawy przycisk myszy. <i>Pozycja</i> wskazuje gdzie tekst ma być wyświetlany w odniesieniu do krzyżyka (left, right, up, down, center). <i>Warstwa</i> określa której warstwie ma być nadana etykieta.
:layers	- wyświetlenie informacji o warstwach dostępnych w bieżącej technologii
:macro [<i>znak</i>]	- wyświetlenie informacji o makrze przypisanym do <i>znaku</i> . Bez argumentów wyświetla informację o wszystkich makrach.
:macro <i>znak polecenie</i>	- przypisanie <i>znakowi polecenia</i> . Ciąg poleceń powinien być zawarty w cudzysłowach
:move [<i>kier</i> [<i>odl</i>]]	- przesunięcie zaznaczonego elementu wraz z boxem tak, że dolny lewy róg boxu znajduje się w nowej pozycji kursora. Można określić <i>kierunek</i> przesunięcia (left, right, up, down) oraz <i>odległość</i> w liczbie jednostek
:paint <i>warstwa</i>	- narysowanie <i>warstwy</i> na obszarze objętym boxem
:redo	- odtworzenie cofnięcia
:select	- zaznacza element znajdujący się pod kursorem, kolejne wydawanie polecenia powoduje zaznaczanie coraz to większych obszarów
:select more	- dodatkowo zaznacza element znajdujący się pod kursorem zamiast zastąpić wcześniejsze zaznaczenie

:select area [<i>warstwy</i>]	- zaznacza <i>warstwy</i> na obszarze objętym boxem. Standardowo zaznacza wszystkie warstwy.
:sideways	- obrócenie zaznaczonego elementu prawa na lewą
:stretch [<i>kier</i> [<i>odl</i>]]	- działanie podobne do :move z tym, że element ulega rozciągnięciu, a wszystkie warstwy które znajdowały się na jego drodze ulegają usunięciu. Rozciąganie działa tylko poziomo lub pionowo
:undo	- cofnięcie ostatnio wykonanego polecenia
:upside down	- odwrócenie zaznaczonego elementu do góry nogami
:view	- wyświetlenie na ekranie zawartość całej komórki
:what	- wyświetlenie informacji o tym co jest aktualnie zaznaczone
:writeall	- zapisuje na dysk wszystkie komórki które były edytowane w bieżącej sesji. Przed zapisaniem kolejnej komórki polecenie pyta się co należy z nią zrobić do wyboru są możliwości: write - zapisanie komórki, flush - przywrócenie starej zawartości z dysku, skip - pominięcie komórki przy zapisywaniu, abort - natychmiastowe zakończenie komendy
:zoom <i>współczynnik</i>	- pomniejszenie obrazu o <i>współczynnik</i> . Aby obraz zwiększyć należy użyć współczynnika o wartości mniejszej od 1.

Polecenia krótkie:

a	- skrót dla :select area
A	- skrót dla :select more area
b	- skrót dla :box
B	- skrót dla :findbox
c	- skrót dla :copy
C	- usunięcie zaznaczenia
d	- skrót dla :delete
^D	- usuwa warstwy z obszaru objętego boxem, ale tylko te na które aktualnie wskazuje kursor
g	- skrót dla :grid
G	- skrót dla :grid 2
q,w,e,r	- skrót dla :move [<i>left, down, up, right</i>]
Q,W,E,R	- skrót dla :stretch [<i>left, down, up, right</i>]
s	- skrót dla :select
S	- skrót dla :select more
t	- skrót dla :move
T	- skrót dla :stretch
u	- skrót dla :undo
U	- skrót dla :redo
v	- skrót dla :view
z	- skrót dla :zoom
Z	- skrót dla :zoom 2
.	- powtórzenie ostatnio wykonanego długiego polecenia

Uwagi:

Najłatwiejszy sposób rysowania polega na zaznaczeniu boxu, ustawieniu kursora nad kolorem na jaki chcemy zamalować box a następnie kliknięciu środkowym przyciskiem myszy.

3) Tworzenie hierarchii komórek

Polecenia długie:

:array <i>xilość yilość</i>	- na podstawie zaznaczonej komórki tworzy macierz komórek tak, że wypełniają one dokładnie powierzchnię boxu a ich ilość w poziomie i w pionie określają parametry <i>xilość</i> i <i>yilość</i> . Umożliwia również zmianę ilości elementów i odstępów pomiędzy nimi w istniejącej już macierzy
:dump <i>nazwa</i>	- odczytuje z dysku komórkę zapisaną w zbiorze <i>nazwa.mag</i> i umieszcza ją na ekranie. Nie tworzy hierarchii komórek
:edit	- zaznaczona komórka staje się komórką aktualnie edytowaną, wszystkie zmiany dokonane w takiej komórce zostaną uwzględnione we wszystkich innych komórkach o tej samej nazwie
:expand	- pokazuje pełny widok wszystkich komórek objętych boxem
:expand toggle	- przełącza pomiędzy pełnym widokiem zaznaczonej komórki a jej ikoną

:flush [<i>komórka</i>]	- przywraca zawartość <i>komórki</i> z dysku. Standardowo przyjmowana jest komórka aktualnie edytowana
:getcell <i>nazwa</i>	- odczytuje z dysku komórkę zapisaną w zbiorze <i>nazwa.mag</i> i umieszcza ją tak że lewy dolny róg komórki pokrywa się z lewym dolnym rogiem zaznaczonego boxu. Tworzy hierarchię komórek
:identify <i>nowyid</i>	- nadaje zaznaczonej komórce nowy identyfikator który musi być unikalny dla całego projektu. Przy tworzeniu nowych komórek magic nadaje im identyfikatory automatycznie
:path [<i>ścieżka</i>]	- definiuje <i>ścieżkę</i> poszukiwań wg. której magic będzie przeglądał katalogi w celu odnalezienia określonej komórki. Poszczególne elementy <i>ścieżki</i> muszą być oddzielone dwukropkiem. Standardowo wyświetla aktualną ścieżkę
:see allSame	- powoduje że wszystkie komórki są wyświetlane z taką samą jasnością barw. Normalnie wszystkie komórki poza aktualnie edytowaną są przyciemniane
:see no allSame	- Przywraca standardowe wyświetlanie zawartości komórek ze zróżnicowaną jasnością barw.
:select cell	- zaznacza komórkę znajdującą się pod kursorem. Komórkę można zaznaczyć poprzez samo :select jeżeli kursor wskazuje na jakiekolwiek miejsce w komórce pozbawione rysunku
:select save <i>plik</i>	- zapisuje na dysku zaznaczoną komórkę pod nową nazwą <i>plik.mag</i>
:unexpand	- zamienia do postaci ikon wszystkie komórki objęte boxem

Polecenia krótkie:

f	- skrót dla :select cell
x	- skrót dla :expand
X	- skrót dla :unexpand
^X	- skrót dla :expand toggle

Uwagi:

Przy posługiwaniu się hierarchią komórek należy zwrócić uwagę aby w komórce nadrzędnej komórki podrzędne nie nakładały się na siebie. Chociaż jest to poprawne z punktu widzenia magic-a to przysparza mu to dużo niepotrzebnej pracy i prowadzi często do pomyłek powodowanych przez projektanta. Nakładanie się komórek na siebie należy stosować tylko w przypadkach uzasadnionych.

Charakterystyka programu Magic

Wstęp

Program Magic jest prostym edytorem topografii, który został napisany na Uniwersytecie Berkeley w Kaliforni i jest dostępny na wielu platformach systemowych takich jak: UNIX, Linux, OS2, DOS. Jest to program rozprowadzany bezpłatnie (public domain) i z tego względu jest wykorzystywany do celów edukacyjnych w wielu uniwersytetach na całym świecie. Magic jest jednym z pierwszych programów do projektowania topografii układów scalonych i został dość dobrze przetestowany i zmodyfikowany w ciągu kilku lat użytkowania. Poza tym dostępne są wersje źródłowe napisane w języku C, dlatego stosunkowo proste jest wprowadzanie zmian w programie i ciągła jego modyfikacja.

Mimo niekomercyjnego charakteru programu przy jego użyciu wykonano wiele realizacji praktycznych układów scalonych na całym świecie. Zbiory technologiczne są więc wielokrotnie zweryfikowane i sprawdzone.

Podstawową cechą programu Magic jest to, iż do projektowania używane są warstwy 'abstrakcyjne', a nie wzory masek. W stosunku do edytorów masek technologicznych jest to istotne usprawnienie przyspieszające i upraszczające w znaczny sposób proces projektowania. Spośród wielu innych cech najbardziej istotne możliwości programu Magic do projektowania topografii analogowych układów scalonych są następujące:

- bieżąca kontrola reguł technologicznych;
- wbudowany hierarchiczny ekstraktor topografii;
- rozwinięte funkcje edytorskie takie, jak: obracanie, odbijanie, kopiowanie, przesuwanie, rozciąganie;
- hierarchiczne łączenie projektów;
- możliwość tworzenia zbiorów technologicznych CIF i Calma.

W niniejszej pracy zostanie opisany program Magic w wersji 6.4.4 oraz technologia SCMOS¹ dostępna poprzez MOSIS².

Metody projektowania układów MOS

Najważniejszą charakterystyczną cechą technologii SCMOS (skalowalne CMOS) jest to, iż jest łatwo skalowalna oraz łatwo przenoszalna. Topografie układów scalonych zaprojektowane przy użyciu technologii SCMOS mogą być wyprodukowane w innej *n-well* lub *p-well* technologii z dużym wyborem oferowanych do dyspozycji szerokości tranzystorów. W Magic-u wszystkie rysowane elementy schematu muszą mieć wielokrotność jednostki podstawowej, która równa jest połowie minimalnego wymiaru. W celu udostępnienia w przyszłości możliwości praktycznego realizowania układu w innej *n-well* lub *p-well* technologii, muszą występować kontakty do wysp typu p (*p-well*) oraz do wysp typu n (*n-well*) i pierścienie ochronne oddzielnie wokół obu typów tranzystorów. W procesie produkcyjnym jeden typ wysp, jeden typ pierścieni ochronnych i jeden z typów kontaktów do podłoża zostanie zignorowany. Wszystkie warstwy w Magic-u są traktowane jako warstwy 'abstrakcyjne', które nie określają dokładnego wzoru maski użytej do zrealizowania projektu. Do procesu produkcyjnego warstwy z Magic-a muszą być przetransformowane na format warstw typu CIF lub Calma, które określają maski topografii. Generalnie warstwy łączące takie, jak *metal1*, *metal2*, polya lub dyfuzja zostaną przetransformowane do zbioru CIF lub Calma tak, jak zostały narysowane. Wyspy mogą być narysowane jawnie lub zostawione do automatycznego wygenerowania przez program Magic.

Dostępne warstwy i ich opis

¹ Technologia SCMOS jest udostępniona przez MOSIS i umożliwia wykonanie układów scalonych *n-well*, *p-well* i *double-well* w szerokim zakresie wymiarów od 0.8µm do 3µm

² MOSIS - USC Information Sciences Institute

Technologia SCMOS dostarcza dwa poziomy metali. Wszystkie kontakty łączone są z metalem pierwszym (*metal1* lub *metal*).

Metal pierwszy (metal1)

Warstwa metalu pierwszego jest rysowana w kolorze niebieskim. Nazywana jest ona *metal1*, *m1* lub *blue*. Warstwa *metal1* powinna posiadać minimalną szerokość 3 jednostki i minimalną odległość pomiędzy metalami przynajmniej 3 jednostki..

Metal drugi (metal2)

Górna warstwa metalu nazwa się *metal2*, *m2* lub *purple* i rysowana jest w kolorze purpurowym. Metal drugi musi być przynajmniej o szerokości 3 jednostek i musi być oddalony od każdego innego o przynajmniej 4 jednostki.

Polisilikon (poly)

Polisilikon rysowany jest w kolorze czerwonym oraz nazywany jest w Magic-u jako: *polysilicon*, *poly*, *red* lub *p*. Polisilikon powinien posiadać minimalną szerokość 2 jednostki, minimalną odległość pomiędzy polisilikonem 2 jednostki.

Drugi polisylikon (poly2)

Polisilikon drugi rysowany jest w kolorze żółtym. Warstwa ta może być wprowadzana w Magicu jako: *poly2*, *elektrode*, *el* lub *p2*. Polisilikon2 powinien posiadać minimalną szerokość 2 jednostki, minimalną odległość pomiędzy *poly2* a *poly2* 3 jednostki.

Dyfuzje

Najczęściej rysowaną dyfuzją jest dyfuzja typu p (*p-diffusion*) na wyspie typu n (*n-well*) lub podłożu typu n (*n-substrate*) oraz dyfuzja typu n (*n-diffusion*) na wyspie typu p (*p-well*) lub podłożu typu p (*p-substrate*). Warstwy te są używane do tworzenia tranzystorów MOS typu p i n. Dyfuzja typu p na wyspie typu n jest rysowana w jasno brązowym kolorze. Może się ona nazywać *pdiffusion*, *pdiff* i *brown* dla dyfuzji typu p. Dyfuzja typu n na wyspie typu p jest rysowana w kolorze zielonym i może być nazywana: *ndiffusion*, *ndiff* lub *green*.

Dyfuzja typu p na wyspie typu p jest rysowana w jasno brązowym kolorze. Warstwę tę nazywa się *psubstratediff*, *psd*, *ppdiff*, *ppd* lub *pohmic*. Dyfuzja typu n na wyspie typu n jest rysowana w kolorze jasno zielonym z i nazywa się *nsubstratediff*, *nsd*, *nndiff*, *nnd* lub *nohmic*.

Reguły projektowania dla dyfuzji typu p i n są takie same. Muszą być one o szerokości co najmniej 3 jednostek, odległości pomiędzy takimi samymi typami dyfuzji co najmniej 3 jednostek.

Dyfuzjami są także obszary wysp. Wyspa typu p. Nazywa się *pw* lub *pwel*, a wyspa typu n *nw* lub *nwell*. Wyspy muszą być przynajmniej o szerokości 4 jednostek, odległości pomiędzy tymi samymi typami co najmniej 3 jednostki. Odległości pomiędzy różnymi typami będą omówione poniżej.

Kontakty do metalu 2

Wszystkie kontakty wymagają warstwy *metal1*. W Magic-u kontakty nie są rysowane jako dwie powierzchnie metalu zachodzące na siebie ze spoiwem w postaci przelotki. Zamiast tego rysuje się pojedynczy obszar specjalnego typu o nazwie np. *metal2contact* w przypadku gdy łączymy z warstwą *metal2*. Magic w pliku wyjściowym automatycznie wygeneruje *metal1* i *metal2* oraz przelotkę w środku powierzchni kontaktu. Wszystkie kontakty muszą być prostokątne. Kontakty z *metal1* do *metal2* są nazywane *metal2contact*, *m2cut*, *m2c*, *via*, *v*. Pojawiają się one na ekranie jako powierzchnia *metal1* nad powierzchnią *metal2* z czarnym wzorem nad kontaktem. Kontakt do metalu2 musi być przynajmniej o szerokości 4 jednostek. Zalecane jest aby kontakt do metalu 2 był wymierzany wymiarach: 4, 9, 14, 24 ... $(1+1+2+5k)$, gdzie: $k=0,1,2,3...$.

Dodatkową specjalną regułą dla kontaktów *metal2* jest to, że nie może być żadnych krawędzi *poly* lub dyfuzji pod kontaktami do *metal2* lub w zasięgu jednej jednostki do niego, ponieważ trudno jest wytworzyć kontakt do metalu2 nad obszarem krawędzi *poly* lub dyfuzji. Do zaakceptowania jest położenie *poly* lub dyfuzji pod kontaktami do metalu2, jeżeli *poly* lub dyfuzja całkowicie pokrywa powierzchnię kontaktu i dodatkowo otacza ją z zapasem jednej jednostki.

Kontakty do poly, poly2 i dyfuzji

Kontakty pomiędzy *metal1* i *poly* nazywają się *polycontact*, *pcontact*, *polycut*, *pc*. Kontakt do *poly* musi być o szerokości przynajmniej 4 jednostek i musi być w odległości od *poly* lub kontaktu do *poly* 3 jednostek. Jest to jedna jednostka więcej niż odległość pomiędzy *poly* a *poly*. Kontakt do *poly* musi być w odległości przynajmniej 1 jednostki od dyfuzji.

Kontakt do *poly2* (*electrode*) nazywa się *electrodecontact*, *contact*, *ec*, *poly2contact* lub *p2c*. Szerokość kontaktu do *poly2* musi mieć przynajmniej 4 jednostki. Kontakt ten musi być przynajmniej w odległości 3 jednostek od kontaktu do *poly* nawet jeżeli są one połączone z tą samą warstwą metalu1. Warstwa ta jest używana do tworzenia kondensatorów *poly/poly2*.

Kontakty pomiędzy metalem1 i dyfuzją typu n są nazywane *ndcontact*, *ndiffcut*, *ndc*. Kontakty do dyfuzji typu p nazywane są *pdcontact*, *pdiffcut*, *pdc*. Kontakty do podłoża typu n nazywają się *nsubstratecontact*, *nwcontact*, *nsc*, *nwc*. Kontakty do podłoża typu p nazywają się *psubstratecontact*, *pwcontact*, *psc*, *pwc*. Kontakty do podłoża są używane do utrzymania na podłożu odpowiedniego napięcia, aby zapobiec zatrząskiwaniu się układu. Wszystkie kontakty muszą być szerokości co najmniej 4 jednostek oraz oddzielone od innej dyfuzji o przynajmniej 4 jednostki (jedna jednostka więcej niż odległość dyfuzja dyfuzja). Rekomendowane jest aby kontakty do *poly*, *poly2* lub dyfuzji były wielkości wielokrotności 4 jednostek. Kontakty do *poly*, *poly2* i dyfuzji rysowane są na ekranie jako połączenie między dwoma warstwami z zakreskowanym obszarem kontaktu. Wszystkie kontakty muszą być kształtu prostokątnego. Następujące typy kontaktów mogą stykać się brzegami: kontakt do dyfuzji typu p i kontakt do podłoża typu n oraz kontakt do dyfuzji typu n i kontakt do podłoża typu p, inne są zabronione. Kontakt do *poly* musi być w odległości przynajmniej 2 jednostek od kontaktów do dyfuzji, nawet jeśli dwa kontakty są połączone elektrycznie. *Poly2* musi być przynajmniej w odległości 2 jednostek od kontaktów do dyfuzji.

Warstwa szkła (overglass) i pola kontaktowe (pads)

Cały obszar struktury układu scalonego jest pokryty warstwą szkła, która zabezpiecza dodatkowo układ. Jeżeli istnieje potrzeba, aby niektóre obszary nie były pokryte warstwą szkła, Magic posiada specjalne dwa typy warstw, które można do tego użyć. Są to pola kontaktowe (*pads*) i warstwa nazwana *glass*. Pola kontaktowe powodują otwory w pokrywającym układ szkło, składają się z *metal1*, *metal2* i kontaktu pomiędzy *metal1* i *metal2*. Pola kontaktowe są wyświetlane jako *metal2* nad *metalem1* z diagonalnymi liniami. Reguły dla pól kontaktowych nie są mierzone w jednostkach λ , ale w mikrometrach, dlatego też pola kontaktowe nie są sprawdzane przez reguły Magic-a. Każdy bok pola kontaktowego musi mieć przynajmniej 100 μm .

Drugą warstwą, która dostarcza projektantom możliwość robienia cięć w szkło w dowolnym miejscu na podłożu dla sondowania lub innych celów, nazwana jest *glass*. Warstwa ta rysowana jest z ciemnymi paskami po przekątnej. Powierzchnie sondowania powinny być o szerokości przynajmniej 75 μm , jednak Magic nie sprawdza tej reguły.

Przestrzeń pomiędzy warstwami typu n i p

Dyfuzja typu n, tranzystor typu n, kontakt do dyfuzji typu n oraz kontakty do wysp typu p muszą znajdować się daleko od dyfuzji typu p, tranzystorów typu p, kontaktów do dyfuzji typu p oraz kontaktów do wysp typu n. Dyfuzja typu n musi być w odległości przynajmniej 10 jednostek od dyfuzji typu p. Kontakty do podłoża mogą być o 2 jednostki bliżej od materiału o przeciwnym typie (wyspy nie muszą ich otaczać na tak dużo jednostek), tak że kontakty do wysp typu n potrzebują jedynie 8 jednostek odległości od dyfuzji typu n, kontakty do podłoża typu p muszą być odległe od dyfuzji typu p o przynajmniej 8 jednostek, kontakty do wyspy typu n powinny być odległe jedynie 6 jednostek od kontaktów do wyspy typu p.

Budowa tranzystorów

Tranzystory typu p są rysowane jako powierzchnia dyfuzji typu p (*pdiffusion*) pokryta polysilikonem (*poly*). Magic akceptuje następujące nazwy dla tej warstwy: *pfet* lub *ptransistor*. Tranzystory typu n są rysowane jako powierzchnia dyfuzji typu n pokryta polysilikonem.. Tranzystory obu typów mogą być generowane przez narysowanie *poly* oraz dyfuzji jedno na drugim lub przez narysowanie bezpośrednio warstwy tranzystorowej. Reguły projektowania są takie same dla obu typów tranzystorów. Tranzystory muszą być przynajmniej o długości 2 jednostek i o szerokości 3 jednostek. *Poly* użyte jako bramka musi wystawać poza obrzeża kanału tranzystora przynajmniej na 2 jednostki. Dyfuzje typu n i p muszą wystawać poza obrzeża kanału tranzystora przynajmniej na 3 jednostki oraz muszą być odległe przynajmniej o 1 jednostkę od kontaktu do *poly*. *Poly* musi być przynajmniej 1 jednostkę dalej od obrzeża dyfuzji wykluczając obszar, gdzie tworzy ona tranzystor. Tranzystory muszą być przynajmniej w odległości 2 jednostek od siebie.

Warstwa typu polysilikon2 (*poly2*) także może być użyta do tworzenia tranzystorów poprzez pokrycie *poly2* dyfuzją typu n lub p. Magic akceptuje następujące nazwy dla tak zbudowanego tranzystora: *epfet* lub *eptransistor* dla tranzystora typu p oraz *enfet* lub *entransistor* dla tranzystora typu n. Oba typy tranzystorów tworzone są przez narysowanie *poly2* i dyfuzji jedno na drugim lub przez

narysowanie bezpośrednio warstwy tranzystorowej. Reguły projektowe dla obu typów tranzystorów są te same: tranzystory muszą być przynajmniej o długości 2 jednostek i o szerokości 3 jednostek. *Poly2* użyte jako bramka w tranzystorze musi wystawać poza obrzeże tranzystora przynajmniej na 2 jednostki, a dyfuzje typu n lub p muszą wystawać poza obszar tranzystora przynajmniej na 3 jednostki. Dyfuzje muszą być w odległości od kontaktów *poly2* przynajmniej 1 jednostki z wyłączeniem obszaru, gdzie *poly2* tworzy bramkę tranzystora. Tranzystory te muszą być przynajmniej 3 jednostki odległe od innych.

Dwie warstwy polisilikonu *poly* i *poly2* pokrywające dyfuzję tworzą tranzystor dwubramkowy. Do tworzenia tranzystorów dwubramkowych w Magic-u można użyć specjalnej warstwy nazwanej: *doubletransistor*, *pfloating-gate*, *pfloatg*, *pfet* lub *pfg* dla tranzystorów typu p. Dla dwubramkowych tranzystorów typu n Magic akceptuje następujące nazwy: *doublentransistor*, *nfloating-gate*, *nfloatg*, *nfet* lub *nfg*. Dwubramkowy tranzystor musi być długości przynajmniej 3 jednostek i szerokości 2 jednostek.

Program Magic nie rozpoznaje, że narysowane dwie warstwy *poly* i *poly2* jedna nad drugą, są użyte do tworzenia tranzystorów dwubramkowych. Magic powiadamia w tym przypadku o złamaniu reguł projektowych rysując zakreskowany teren. Magic podstawowo traktuje dwie warstwy *poly* i *poly2* jedna nad drugą, jako kondensator i sygnalizuje złamanie reguł projektowych. Dla tranzystorów z dwoma bramkami ignoruje się pogwałcenie tych reguł projektowych.

Budowa kondensatorów

Warstwy *poly* i *poly2* narysowane jedna na drugiej używane są do budowy precyzyjnych kondensatorów do projektów analogowych. W Magic-u istnieje specjalna warstwa dla kondensatorów. Nazywa się ona *capacitor*, *polycap*, *pcap* lub *cap*. Dla kondensatorów warstwa *poly* musi otaczać warstwę *poly2* w przynajmniej na 2 jednostki szerzej. Warstwa *poly2* musi być przynajmniej w odległości 2 jednostek od wysp i kontaktów do *poly*. Podczas tworzenia kontaktów do *poly2* dla kondensatora warstwa *poly2* musi pokrywać warstwę kontaktu i rozciągać się przynajmniej dwie jednostki dalej. Taki kontakt do kondensatora nazwany jest: *ccontact* lub *capc* lub *cc*. Kontakty do *poly* muszą być w odległości przynajmniej 2 jednostek o warstwy *poly2*. Magic ekstrahuje kondensator jako dwukońcówkowy tranzystor fet. MOSIS wykonał kilka modyfikacji dla programów *ext2sim* i *sim2spice*, które pozwalają na automatyczną ekstrakcję pojemności.

Wyspy i pierścienie ochronne

Dla większości przypadków nie trzeba rysować jawnie wysp jednakże zalecane jest, aby je rysować. Podczas tworzenia plików wyjściowych CIF lub Calma Magic tworzy automatycznie wyspy. Wyspa typu n jest rysowana wokół dyfuzji typu p, tranzystorów typu p, kontaktów do dyfuzji typu p i kontaktów do podłoża typu n. Wyspa typu p jest rysowana wokół dyfuzji typu n, tranzystorów typu n, kontaktów do dyfuzji typu n i kontaktów do podłoża typu p. Magic zlewa blisko

występujące obok siebie wyspy w jedną dużą wyspę, jeżeli jest to możliwe. Dwie dyfuzje typu p i n będą występować na tej samej wyspie jeżeli odległość między nimi jest mniejsza od 10 jednostek. Żeby zaobserwować jakiej warstwy Magic użył, jako wyspy, można użyć komendy :cif (na ekranie pojawią się wtedy nazwy warstw w formacie CIF). Żeby zagwarantować, aby w odpowiednim miejscu znajdowała się wyspa, rysuje się w tym miejscu jawnie warstwę *nwell* lub *pwell*. Tak narysowane wyspy będą dodatkiem automatycznego generowania wysp. Wyspa typu p musi być przynajmniej pięć jednostek od dyfuzji typu p, tranzystora typu p lub kontaktu do dyfuzji typu p i trzy jednostki od kontaktu do wyspy typu p. Wyspy typu n i p mogą występować obok siebie, jednak nie mogą na siebie zachodzić (jeżeli zostanie narysowana jedna wyspa nad drugą, to nowa wyspa zastąpi starą). Wszystkie wyspy typu n i p muszą być szerokości przynajmniej 10 jednostek i odseparowane od innych wysp o tym samym typie o przynajmniej 9 jednostek.

Pierścienie ochronne rysuje się, aby uniknąć zatrzaskiwania się układu. Rysuje się je wokół tranzystorów o tym samym typie. Pierścienie ochronne tworzone są poprzez rysowanie warstwy silnie domieszkowanej o typie domieszkowania zgodnym z typem podłoża (lub wyspy). Można to wykonać rysując warstwę *psd* na podłożu typu p lub warstwę *nsd* na podłożu typu n. Kontakty do warstw *nndiffusion* i *ppdiffusion* powinny być użyte do związania pierścieni odpowiednio do Vdd i GND. Silna dyfuzja typu n musi być przynajmniej w odległości 3 jednostek od wyspy typu p i 6 jednostek od silnej dyfuzji typu p lub kontaktów do silnej dyfuzji typu p oraz 8 jednostek od dyfuzji typu n lub kontaktów do dyfuzji typu n (takie same reguły dla kontaktów do silnej dyfuzji typu n). Aby się układ nie zatrzaskiwał stosuje się kontakty do podłoża i wysp.. Dobrą regułą jest to, aby stosować przynajmniej taką ilość kontaktów do podłoża, ile jest tranzystorów.

Zamiana typów.

W programie Magic zostały wprowadzone pewne funkcje, aby łatwo można było zamieniać domieszkowanie z typu n na p i odwrotnie. Jeżeli zostanie narysowana wyspa typu n (*nwell*) nad dyfuzją typu n, to zamieni się ona na dyfuzję typu p (*ndiff* → *pdiff*), tranzystor typu n na p (*nfet* → *pfet*), kontakty do dyfuzji typu n na kontakty do dyfuzji typu p (*ndc* → *pdc*), kontakty do podłoża typu p., na kontakty do podłoża typu n (*pdc* → *ndc*) i silne dyfuzje typu p na silne dyfuzje typu n (*psd* → *nsd*). Podobnie jeżeli narysujemy wyspę typu p (*pwell*) nad dyfuzją typu p., to zamieni się ona na dyfuzję typu n (*pdiff* → *ndiff*), tranzystor typu p na n (*pfet* → *nfet*), kontakty do dyfuzji typu p na kontakty do dyfuzji typu n (*pdcc* → *ndcc*), silne dyfuzje typu n, na silne dyfuzje typu p (*ndcc* → *pdcc*), kontakty do podłoża typu n, na kontakty do podłoża typu p (*nscc* → *pscc*). Jest to użyteczne do robienia symetrycznych kopii pewnego obszaru. Kopiuje się wówczas dany obszar, rysuje wyspę o przeciwnym typie nad tym obszarem, a następnie kasuje ją, aby zostawić tylko podstawowe warstwy.

Spis warstw używanych w technologii SC MOS

pw , *pwell*
nw , *nwell*

wyspa typu p
wyspa typu n

p , poly , polysilicon , red
el , electrode , p2 , poly2
cap , capacitor , pcap , polycap
green , ndiff , ndiffusion
brown , pdiff , pdiffusion
pohmic , ppd , psd , psubstratediff
nnd , nohmic , nsd , nsubstratendiff
blue , m1 , metal1
m2 , metal2 , purple
nfet , ntransistor
pfet , ptransistor
enfet , entransistor
epfet , epttransistor
doubletransistor , nffet , nfg ,
nfloatg , nfloating-gate
doublepttransistor , pffet , pfg ,
pfloatg , pfloating-gate
pc , pcontact , polycontact , polycut
ndc , ndcontact , ndiffcut
pdc , pdcontact , pdiffcut
capc , capcontact , cc , ccontact
ec , econtact , electrodecontact ,
p2c , poly2contact
m2c , m2contact , m2cut , v , via
psc , psubstratepcontact , pwc , pwcontact
nsc , nsubstratencontact , nwc , nwcontact
pad
glass

poly
poly2
kondensator
dyfuzja typu n
dyfuzja typu p
dyfuzja typu p na podłożu typu p
dyfuzja typu n na podłożu typu n
metal1
metal2
 tranzystor typu n
tranzystor typu p
tranzystor typu n na bramce z poly2
tranzystor typu p na bramce z poly2

tranzystor typu n dwubramkowy

tranzystor typu p dwubramkowy
kontakt do poly
kontakt do dyfuzji typu n
kontakt do dyfuzji typu p
kontakt do kondensatora

kontakt do poly2
kontakt do metalu2
kontakt do podłoża (wyspy)typu p
kontakt do podłoża (wyspy)typu n
pole kontaktowe
otwory w szkle

Opracowane na podstawie pracy dyplomowej „Synteza środkowoprzepustowego filtra aktywnego OTA-C za pomocą sygnałowego grafu przepływowego”, G. Pankiewicz WETI PG, 1996