

Realizace prototypu

Konstrukce a realizace elektronických obvodů

Michal Brejcha
brejcmic@fel.cvut.cz

ČVUT v Praze, FEL

Praha, 2023

Obsah

- 1 Základní materiály DPS
- 2 Výroba DPS
- 3 Přidávání dalších vrstev
- 4 Technologická omezení

Téma

1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Deska plošného spoje

Propojovací cesty jsou vytvářeny pomocí napařené měděné folie na dielektrickém substrátu.

Vodič: Cu Folie. Tloušťka je značena v oz (unce - hmotnostní jednotka). $1 \text{ oz} \approx 35 \mu\text{m}$, nejběžnější tloušťky jsou 0.5 oz, 1 oz a 2 oz.

Izolant: skelná tkanina + epoxydová pryskyřice. Existují v zásadě různé materiály lišící se poměrem objemu tkaniny ku pryskyřici čímž lze měnit dielektrické i mechanické vlastnosti.

Základní vlastnosti:

- $\epsilon_r \approx 3.8 - 5$,
- $E_{max} \approx 15 \text{ kV/mm}$,

Měděná folie



- malý odpor, pro 1 oz je zhruba $R_{sq} = 1 \text{ m}\Omega/\text{čtverec}$,
- ušlechtilý kov,
- rozpouští se v roztoku chloridu železitého ($FeCl_3$)

Výpočet odporu vodivé cesty:

$$R = n \cdot R_{sq} = \frac{l}{w} \cdot R_{sq}$$

n ... počet čtverců, l ... délka cesty, w ... šířka cesty

Sklolaminátová deska FR4



- stabilní elektrické izolační vlastnosti $E_{max} > 15 \text{ kV/mm}$,
- hladký povrch,
- vysoká pevnost v tlaku, ohybu: obvykle $> 500 \text{ MPa}$ (PTFE $\approx 14 \text{ MPa}$),
- vysoká pevnost v tahu: obvykle $> 250 \text{ MPa}$ (PTFE $\approx 12 \text{ MPa}$),
- srovnatelná hustota s plasty: $\approx 2000 \text{ kg/m}^3$ (PTFE $\approx 2200 \text{ kg/m}^3$, PVC $\approx 1400 \text{ kg/m}^3$),
- nízká navlhavost, nehořlavost a dobrá chemická odolnost,
- teplotní odolnost do cca 140°C

Téma

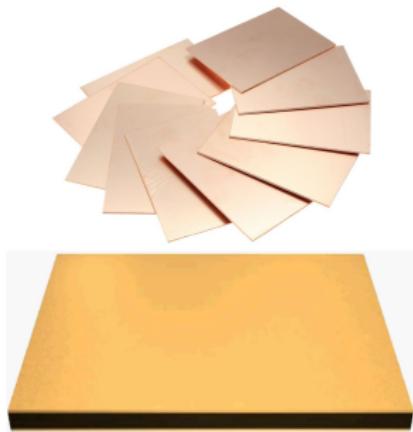
1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Jádro PCB



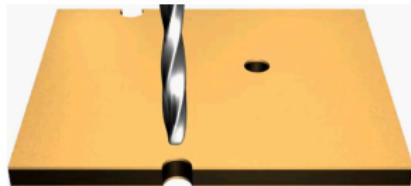
Základ sendvičové struktury:

- jádro izolantu FR4 s Cu vrstvami po obojou stranách,
- vrstvy jsou napařovány a pryskyřice je vytvrzována při specifickém tlaku (od 1.9 MPa do 2.8 MPa) a teplotě (kolem 190 °C),
- Jádro je základem i pro vícevrstvé plošné spoje a tvoří významnou část z celkové touštky výsledného plošného spoje.

Vrtání děr do jádra

Jádro se vrtá jen:

- dvoustranném plošném spoji nebo
- pokud existují prokovy, které nejsou průchozí do krajních vrstev..



K propojení obou stran dochází pomocí prokovených děr.

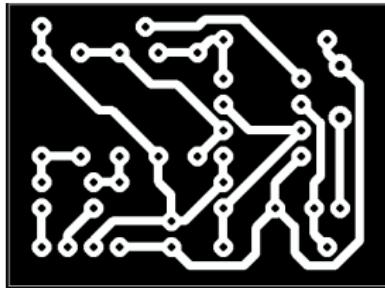


Nanášení fotorezistu

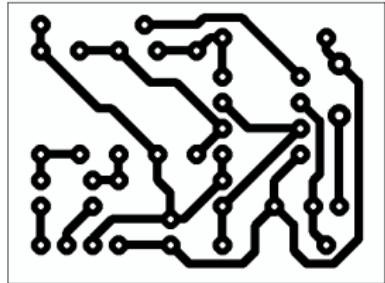
- fotorezist se aplikuje tlakem při zvýšené teplotě,
 - nejčastěji se nanáší válcováním,
 - v malosériových výrobách může být nanášen stříkáním (amatérská výroba),
 - nanesená vrstva je velmi citlivá na UV záření,
-
- v prostorách zpracovávajících fotorezist se používá světlo s dlouhou vlnovou délkou (červené), aby bylo zabráněno předčasné expozici.



Typy fotorezistů



Negativní fotorezist



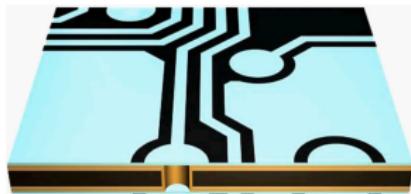
Pozitivní fotorezist

Jsou možné dvě reakce fotorezistu na expozici:

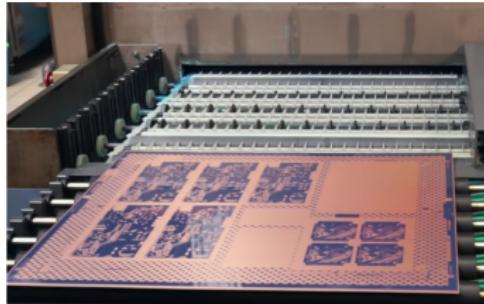
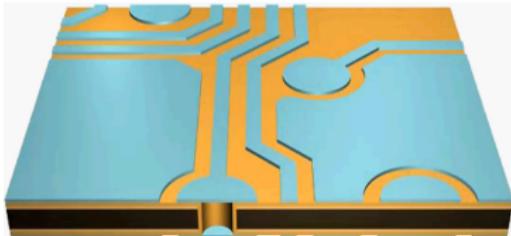
- ① exponované prostory polymerizují nebo
- ② jsou chemicky narušeny a je možné rozpustit ve vyvolávací lázni.

V prvním případě se jedná o negativní fotorezist, jelikož je žádaná chybějící část masky. Druhý je pozitivní fotorezist. V hromadné výrobě se obvykle využívá negativní fotorezist.

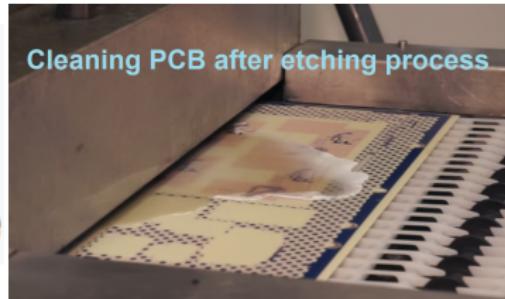
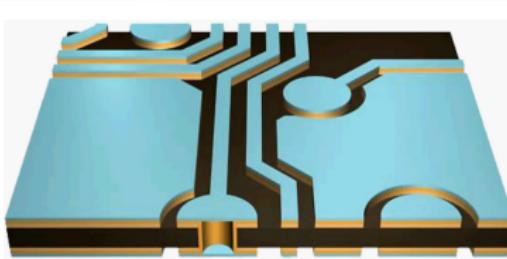
Expozice a vyvolání



- ⇐ Desky se exponují v UV světle,
- ↓ po odstranění nežádoucí vrstvy rezistu, zůstává v každém případě obrazec plošného spoje.



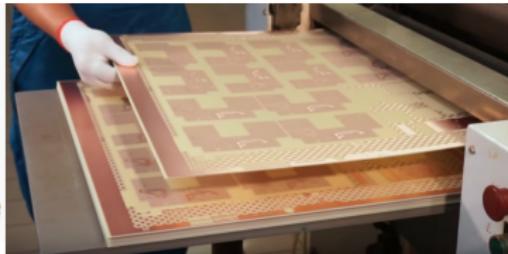
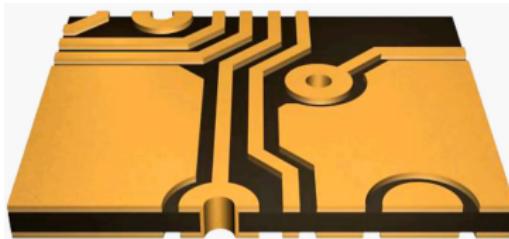
Leptání



Cleaning PCB after etching process

- Pokud jsou v jádře otvory, pak jsou zamaskovány rezistem.
- Měď, která není chráněna rezistem, je rozpuštěna v kyselině.
- Obvyklé lázně jsou založené na chloridu měďnatém, chloridu železitém.

Dokončení jádra DPS



- Po dokončení je jádro umyto a spoje procházejí automatickou optickou inspekcí.
- Pokud se jedná jen o dvouvrstvý spoj, pak proces pokračuje depozicí nepájivé masky.
- Při vícevrstvém spoji následuje proces tvorby dalších vrstev.

Téma

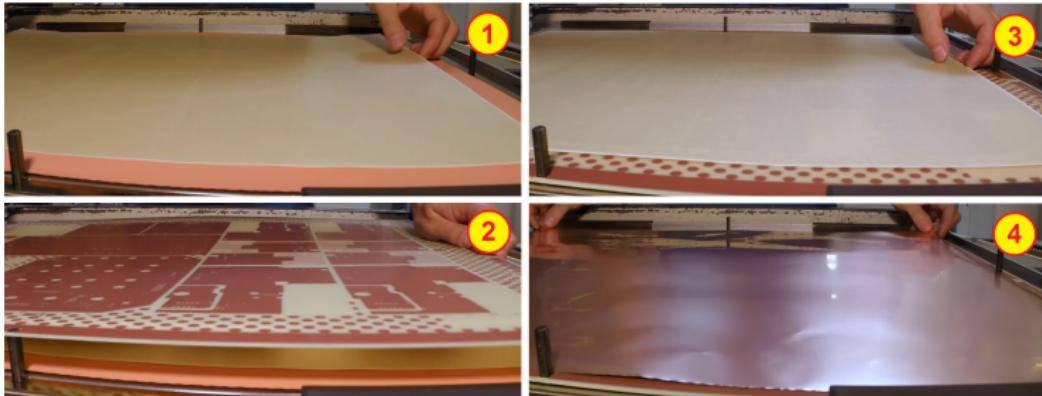
1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Zakládání vrstev



Ručně se přidávají další vrstvy:

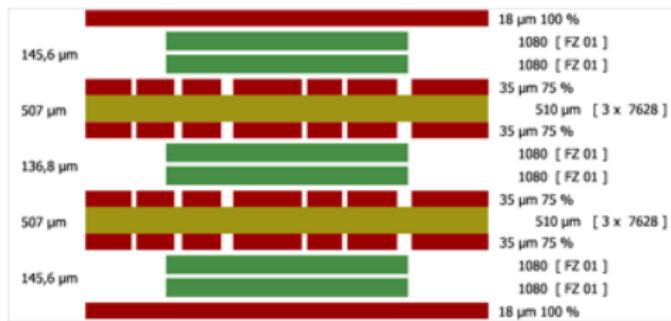
- ➊ Do spod se vkládá Cu a prepreg vrstva,
- ➋ vložení jádra,
- ➌ vložení vrchní prepreg vrstvy,
- ➍ vložení vrchní Cu vrstvy.

prepreg je nevytvřená vrstva FR4.

Porovnání tloušťek vrstev - zdroj Pragoboard



4 vrstvy



6 vrstev

- DPS může obsahovat více jader,
- některé vrstvy mají menší izolační vzdálenost.

Slepení vrstev pomocí tlaku a tepla



- Používá se podobný proces jako při laminaci jádra. Pryskyřice se vytvrzuje při teplotách okolo 190 °C.

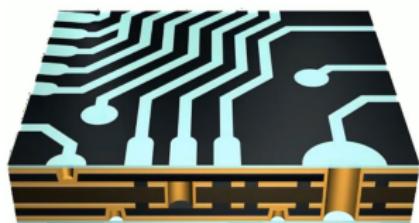
Vrtání



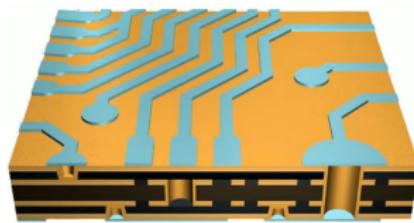
- Více desek je vždy vrtáno najednou.
- Následuje prokovávání děr, podobně jako tomu bylo u realizace jádra.

Zpracování obrazce

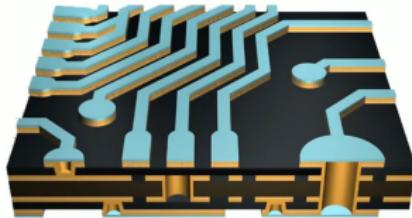
...je to stejné jako u jádra:



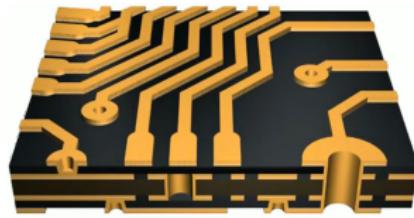
Depozice rezistu a UV expozice



Vyvíjení



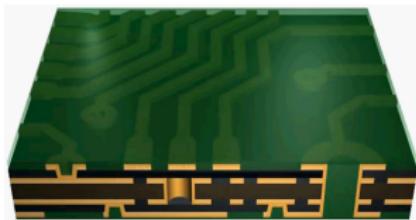
Leptání



Mytí

Tvorba nepájivé masky

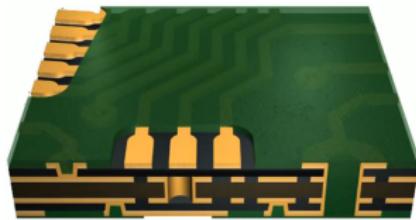
...je téměř stejná jako fotolitografie:



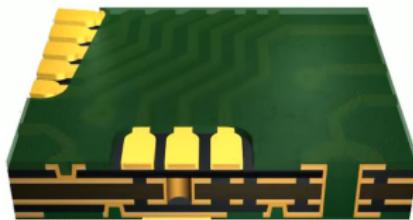
Depozice masky



Expozice



Vyhýjení



Pokovování

Pokovováníí



Jen orientační přehled možných pokovovacích procesů

① HASL - žárové cínování, halovaní

- skvělá pájitelnost, levné,
- vrstvy vykazují nerovnosti, nehodí se pro SMD montáž < 20 mil.

② ENIG - imerzní zlacení

- rovnoměrné plochy, dobrá pájitelnost, vhodné pro drobné SMD a BGA,
- chemický proces může být agresivní vůči nepájivé masce, je to drahé

③ Galvanické zlacení

- rovnoměrné plochy, dobrá pájitelnost, otěruvzdorné a tudíž vhodné pro konektory,
- zlacené plošky musejí mít mezi sebou vodivý kontakt, je to drahé

④ Imerzní cín

- rovnoměrné plochy, dobrá pájitelnost,
- chemický proces může být agresivní vůči nepájivé masce, problém whiskerů

Téma

1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Omezení plynoucí z principu výroby

- U dvouvrstvé DPS musím počítat s izolační vzdáleností mezi oběma Cu vrstvami, která vždy zajistí dostatečnou mechanickou odolnost (obvyklé minimum je 0,4 mm).
- Nenavrhuji lichý počet vodivých vrstev. Výjimkou je 1 vrstva. Při lichém počtu vrstev téměř jistě dojde k prohnutí DPS vlivem tepelného namáhání.
- U vícevrstvého plošného spoje mají vždy krajní vrstvy a nejbližší sousední vrstva nejmenší izolační vzdálenost (vhodné pro sledované vlastní impedance vedení).
- Vnitřní vrstvy je vhodné navrhovat celistvé (rozlitá měď). Cesty totiž mohou způsobovat nerovnosti v krajních vrstvách.
- Pokovení zvedne vertikální úroveň nezamaskovaných ploch (jde především o pady) a výrazně ovlivňuje osazování.

Omezení v závislosti na výrobci

- Velmi často lze zvolit tloušťku Cu vnějších vrstev, ale vnitřní vrstvy mají tloušťku předepsanou.
- Volba tlouštěk Cu vrstev je omezena.
- Je nutné se seznámit s omezeními týkajících se minimální izolační mezery, šířky cest, průměrů otvorů atd.
- Pokud navrhujeme DPS se sledovanou vlastní impedancí, pak je obvyklé, že si volíte konkrétní materiál a necháváte si vyrobit kontrolní kupón.
- DPS je obvykle omezena minimální izolační vzdáleností vodivé cesty od okraje.

Omezení návrhu - vhodná skladba vrstev

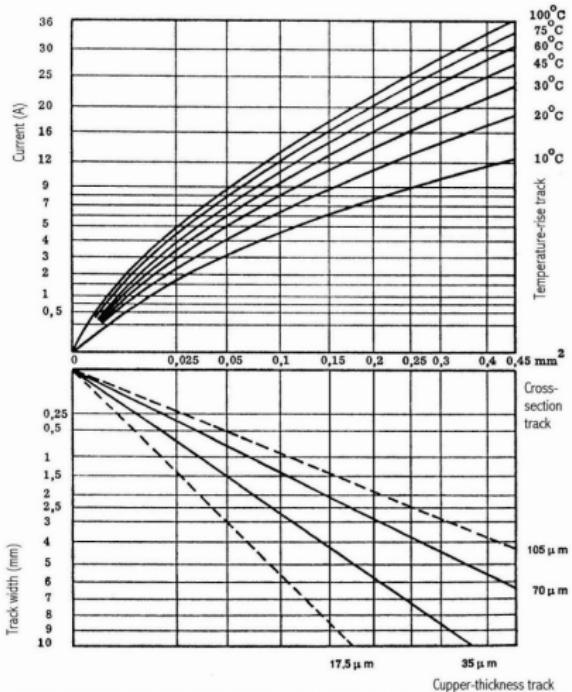
- 2 vrstvy:
 - **sig/pwr –core– gnd**
- 4 vrstvy:
 - ① **sig – gnd –core– gnd – sig/pwr,**
 - ② **sig – gnd –core– pwr – sig,**
 - ③ **sig – gnd –core– sig/pwr – gnd,**

ad 1. rozvod napájení na spodní straně má výhodu snazšího vyvážení ploch,

ad 2. občas problém s EMC, zpětné cesty proudů jdou přes pwr,

ad 3. nutné vyvážit vnitřní vrstvu, nevhodné pro oboustrannou montáž.

Omezení návrhu - proudová zatížitelnost



- ① Zvolím proud a oteplení,
- ② najdu požadovaný průřez,
- ③ ze spodního grafu najdu pro konkrétní tloušťku vrstvy požadovanou šířku spoje dle průřezu.

Omezení návrhu - izolační vzdálenost

UMAX (V)	Rozestupy (mm)						
	DPS				Součástky		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
15	0,05	0,10	0,10	0,05	0,13	0,13	0,13
30	0,05	0,10	0,10	0,05	0,13	0,25	0,13
50	0,10	0,60	0,60	0,13	0,13	0,40	0,13
100	0,10	0,60	1,50	0,13	0,13	0,50	0,13
150	0,20	0,60	3,20	0,40	0,40	0,80	0,40
170	0,20	1,25	3,20	0,40	0,40	0,80	0,40
250	0,20	1,25	6,40	0,40	0,40	0,80	0,40
300	0,20	1,25	12,50	0,40	0,40	0,80	0,80
500	0,25	2,50	12,50	0,80	0,80	1,50	0,80
více jak 500	0,25	2,50	12,50	0,80	0,80	1,50	0,80

- B1** ...cesty ve vnitřních vrstvách
- B2** ... cesty ve vnější vrstvě, bez lakování, méně než 3050 m nad mořem
- B3** ... cesty ve vnější vrstvě, bez lakování, více než 3050 m nad mořem
- B4** ... cesty ve vnější vrstvě, s lakováním
- A5** ... vnější lakované vodiče nad osazenými součástkami
- A6** ... nelakování vývody součástek
- A7** ... lakované vývody součástek

Zdroje dat

- ① <http://www.isola-group.com/wp-content/uploads/>
- ② <https://www.youtube.com/watch?v=z4f-D1EKKD4>
- ③ <https://www.youtube.com/watch?v=T7S40GYESbY>
- ④ <https://www.youtube.com/watch?v=hpR4e1n0HKo&t=204s>