

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

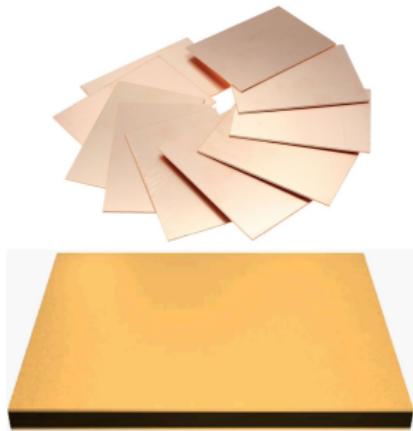
1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Jádro PCB



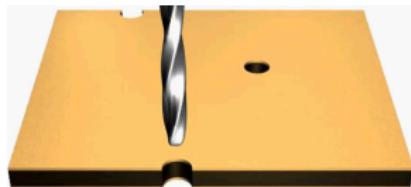
Základ sendvičové struktury:

- 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.

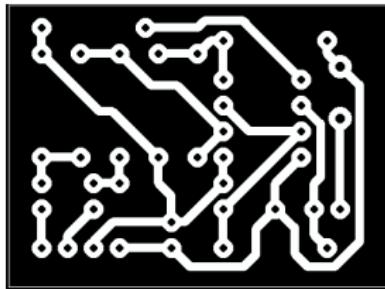


Nanášení fotorezistu

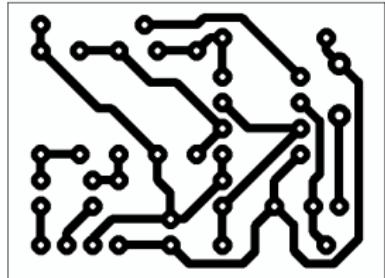
- fotorezist se aplikuje tlakem při zvýšené teplotě,
 - nejčastěji se nanáší válcováním,
 - v malosériových výrobách může být nanášen stříkáním (amatérská výroba),
 - nanesená vrstva je velmi citlivá na UV záření,
-
- v prostorách zpracovávajících fotorezist se používá světlo s dlouhou vlnovou délkou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



Typy fotorezistů



Negativní fotorezist



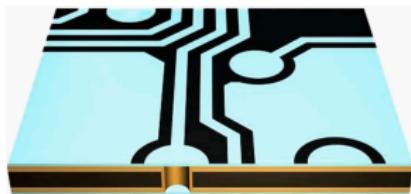
Pozitivní fotorezist

Jsou možné dvě reakce fotorezistu na expozici:

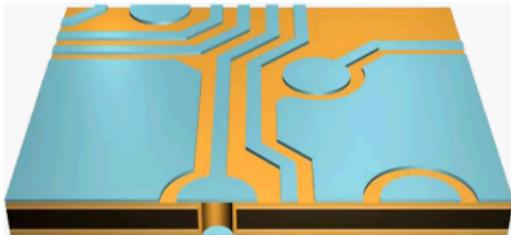
- ① exponované prostory polymerizují nebo
- ② jsou chemicky narušeny a je možné rozpustit ve vyvolávací lázni.

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.

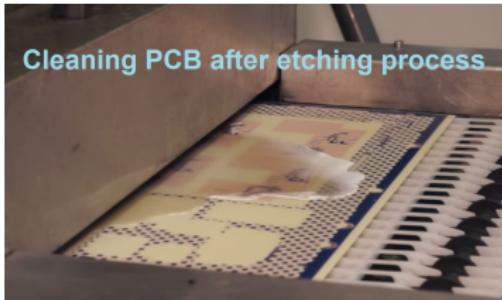
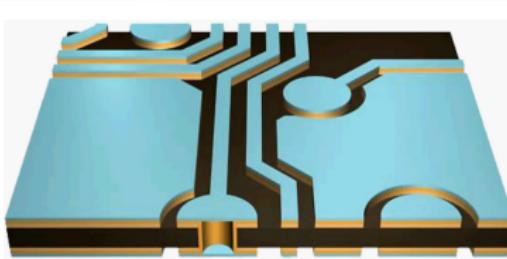
Expozice a vyvolání



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



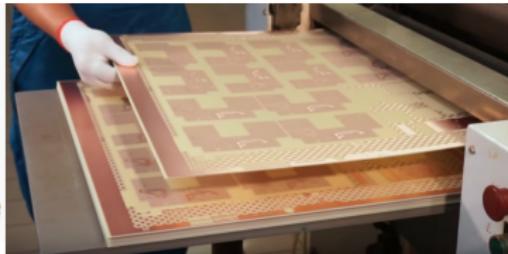
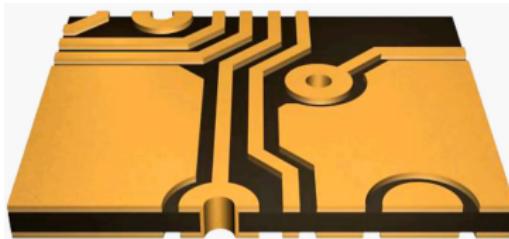
Leptání



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

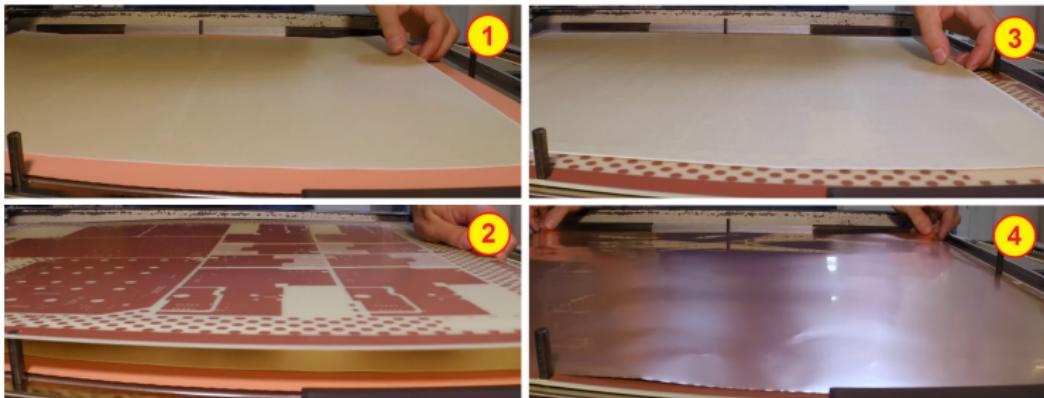
1 Základní materiály DPS

2 Výroba DPS

3 Přidávání dalších vrstev

4 Technologická omezení

Zakládání vrstev



Ručně se přidávají další vrstvy:

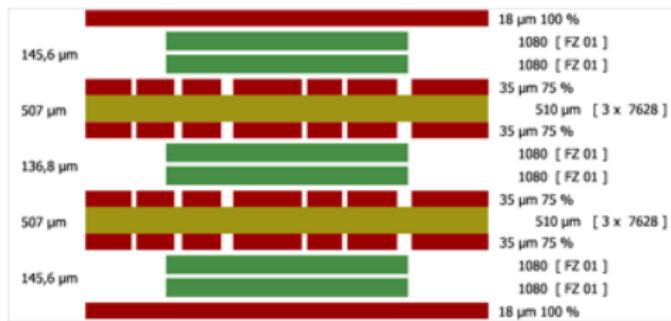
- ➊ Do spod se vkládá Cu a prepreg vrstva,
- ➋ vložení jádra,
- ➌ vložení vrchní prepreg vrstvy,
- ➍ vložení vrchní Cu vrstvy.

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 vytvruje při teplotách okolo 190 °C.

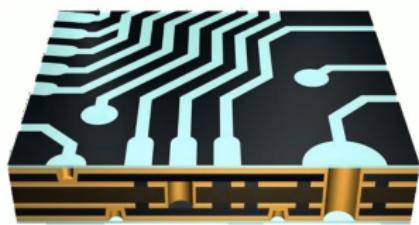
Vrtání



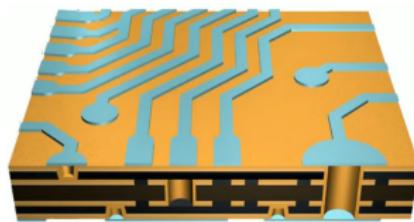
- Více desek je vždy vrtáno najednou.
- Následuje prokovávání děr, podobně jako tomu bylo u realizace jádra.

Zpracování obrazce

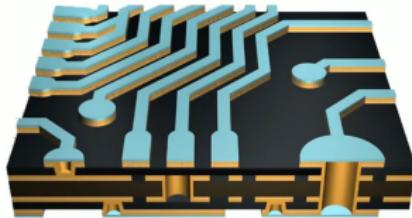
...je to stejné jako u jádra:



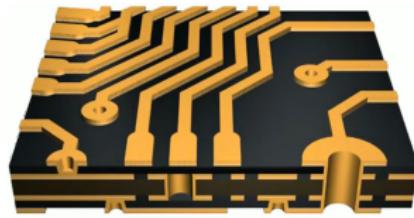
Depozice rezistu a UV expozice



Vyvíjení



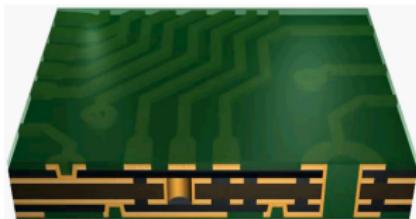
Leptání



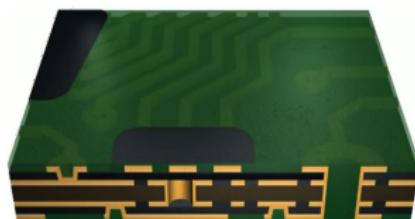
Mytí

Tvorba nepájivé masky

...je téměř stejná jako fotolitografie:



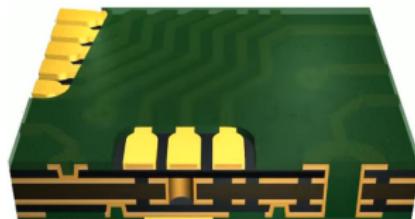
Depozice masky



Expozice



Vyhýjení



Pokovování

Pokovování



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

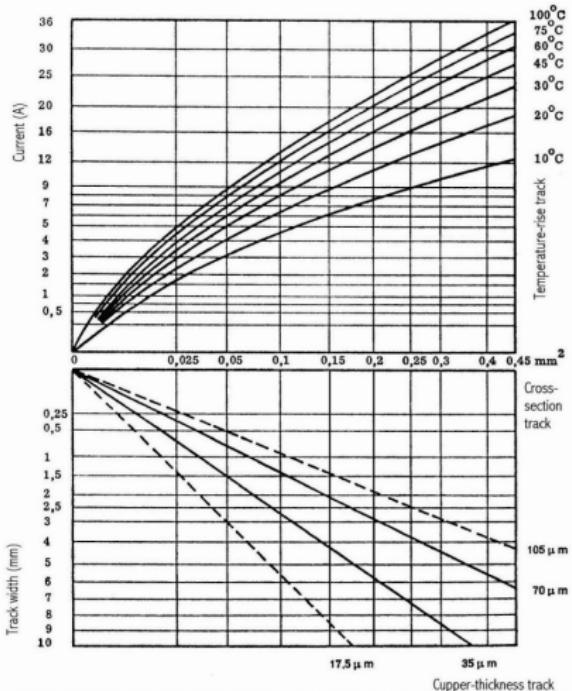
- 2 vrstvy:
 - **sig/pwr –core– gnd**
- 4 vrstvy:
 - ① **sig – gnd –core– gnd – sig/pwr,**
 - ② **sig – gnd –core– pwr – sig,**
 - ③ **sig – gnd –core– sig/pwr – gnd,**

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



- ➊ Zvolím proud a oteplení,
- ➋ najdu požadovaný průřez,
- ➌ ze spodního grafu najdu pro konkrétní tloušťku vrstvy požadovanou šířku spoje dle průřezu.

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>