

1. týždeň

1. Dosky plošných spojov

A. MATERIÁLY DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV

Termínom „*doska plošných spojov*“ sa označuje nosič elektrických prepojení umiestnených na izolačnej podložke, ktorý po osadení elektronickými súčiastkami tvorí funkčný elektronický obvod a je jedným z funkčných mechanických dielov elektrického zariadenia. Dosky plošných spojov (DPS) umožňujú prepojenie diskrétnych súčiastok elektrických zariadení, alebo jeho častí tenkými vodivými fóliami upevnenými na povrchu izolačnej podložky, pričom jednotlivé súčiastky sú oddelené od základného materiálu. DPS tvorí plátovaný materiál odpovedajúcich rozmerov, obsahujúci potrebné otvory a minimálne jeden vodivý obrazec. Prepojovanie vývodov elektronických súčiastok sa uskutočňuje pri súčasnom plnení elektrickej a mechanickej funkcie.

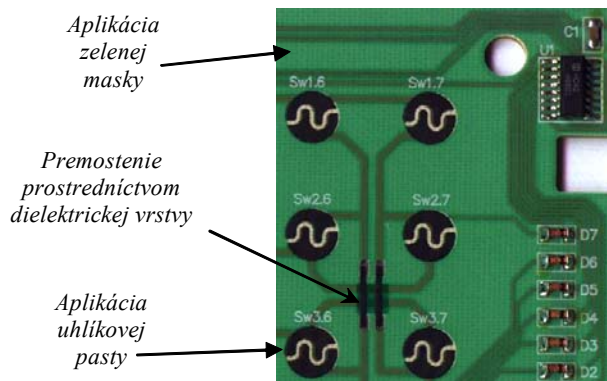
Metodika názvov a pojmov v oblasti výroby DPS sa riadi STN 35 9002 Plošné spoje - názvoslovie. Táto norma obsahuje všetky názvy a pojmy, ktoré sú v oblasti návrhu a výroby dosiek s plošnými spojmi štandardne používané aj s vysvetlením ich významu.

3 funkcie DPS:

1. poskytuje mechanickú oporu súčiastkam, ktoré sú na nich upevnené
2. sprostredkováva elektrické prepojenie medzi súčiastkami pomocou vodičov vytvorených na doske
3. spravidla zaisťuje i označenie súčiastok, ich vývodov a pod.

Druhy dosiek plošných spojov: DPS možno rozdeliť z konštrukčného a technologického hľadiska.

I. **Z konštrukčného hľadiska** (podľa tuhosti) sa delia na *ohybné* (flexibilné) *fólie* alebo *neohybné* (tuhé) DPS (Obr. 1), ktoré môžu byť rovné a tvarované.



Obr. 1 Neohybná DPS - výrez jednostrannej DPS

Rovné tuhé DPS základného materiálu sú vytvorené lisovaním za tepla. V profile dosky sa spravidla striedajú izolačné a nosné vrstvy a na povrchu sú potom na jednej alebo na oboch stranách medené fólie. Tvarované tuhé DPS sa vytvárajú lisovaním alebo vstrekom do požadovaných tvarov, pričom vodivé motívy sa tvoria pokovovaním alebo sieťotlačou.

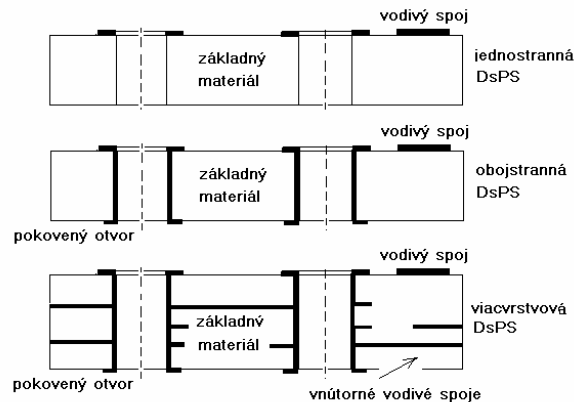
V závislosti od usporiadania a polohy plošných vodičov sa DPS delia na jednostranné, obojstranné a viacvrstvové (Obr. 2).

Jednostranné dosky plošných spojov

Jednostranné DPS sú dosky, u ktorých sú na jednej strane základného materiálu vytvorené vodivé obrazce, ktoré môže byť vytvorené ako:

- medené vodiče,
- medené vodiče pokryté cínovou galvanickou vrstvou ,
- medené vodiče pokryté pretavenou spájkou SnPb.

Pokrytie cínovou galvanickou vrstvou alebo vrstvou pretavenej spájky sa realizuje buď po celej dĺžke vodičov DPS alebo v prípade použitia nespájkovacej masky iba na spájkovacích plochách. Tieto dosky môžu byť vo vyhotovení bez prekovenia alebo s prekovenými otvormi. V prípade jednostranných DPS sa otvory prekovujú za účelom zlepšenia spojenia medzi kontaktom súčiastky a DPS.



Obr. 2 Modely dosiek plošných spojov

Obojstranné dosky s plošnými spojmami

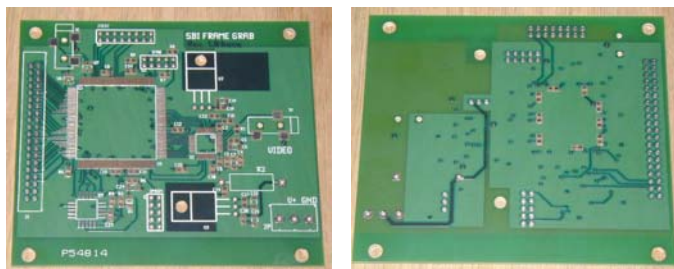
Obojstranné DPS (Obr. 3) sú dosky, u ktorých sú po obidvoch stranách základného materiálu vytvorené vodivé obrazce a všetky potrebné prepojenia. Obrazce sú vo vyhotovení ako:

- medené vodiče,
- medené vodiče pokryté galvanicky nanosenou vrstvou cínu s min. hrúbkou 10µm Sn,

- medené vodiče pokryté pretavenou spájkou SnPb.

Pokrytie cínovou galvanickou vrstvou alebo vrstvou pretavenej spájky sa realizuje buď po celej dĺžke vodičov DPS alebo v prípade použitia nespájkovacej masky iba na spájkovacích plochách.

Elektrické prepojenie obidvoch strán DPS je zabezpečené prostredníctvom otvorov prekovených vrstvou medi o hrúbke min. $20\mu\text{m}$ a vrstvou cínu o hrúbke min. $3\text{--}10\mu\text{m}$. Obojstranné DPS tak efektívne využívajú obidve strany DPS, čím sa výrazne znižuje priestor potrebný pre obvod. Okrem toho je tu možnosť skracovania dĺžky vodičov a teda aj zmenšenia vplyvu rušenia, ako aj možnosť vyššej integrácie súčiastok.



Obr. 3 Obojstranná doska plošného spoja

Viacvrstvé DPS: Viacvrstvé DPS predstavujú dva a viac kusov tuhých obojstranne plátovaných DPS, ktoré sú mechanicky zlamované nad sebou do jedného celku.

Základný materiál DPS je materiál, na ktorom sa vytvorí vodivý obrazec plošného spoja niektorým z výrobných postupov. Pri voľbe základného materiálu plošného spoja sú dôležité vlastnosti základného materiálu, jeho cena a technologická náročnosť. Optimálny materiál pre výrobu neohybných DPS je vrstvený izolant, t.j. **laminát**, ktorý sa skladá z *výstuže a spojiva*.

Výstuž je nositeľkou mechanických a tvarových vlastností. Ako materiál sa pre výstuž používa celulóзовý papier, sklená látka (tkanina, vlákno, rohož...), nylon, bavlna, oceľový plech.

Spojivo prenáša mechanické namáhanie rovnomerne na všetky strany a chráni laminát (DPS) pred mechanickým a chemickým poškodením a pred vplyvom klimatických podmienok. Materiálom spojiva bývajú spravidla polymérne látky na báze rôznych druhov termoplastov a reaktoplastov: fenolická živica, epoxidová živica, silikónová živica, polyesterová živica, polytetrafluóretylén (teflón), imidová živica, aramid, polyimid.

Vlastnosti základných materiálov DPS (Tab. 1): Pri výbere materiálu DPS sa musia zohľadniť základné funkčné predpoklady elektronického obvodu, vplyv prostredia, v ktorom bude pracovať a jeho cena. Funkčné predpoklady zahŕňajú požiadavky na elektrické a mechanické vlastnosti a požiadavky na horľavosť. Vplyv prostredia, v ktorom bude obvod pracovať, zahŕňa vplyv teploty a vlhkosti a tiež vplyv

vibrácií a teplotných šokov. Pri zvažovaní ceny materiálu sa musí zohľadniť, či materiál spĺňa všetky požiadavky potrebné pre proces spracovania.

a/ Elektrické vlastnosti:

- *Odpor kovových vrstiev*, ktorý vyplýva z úrovne čistoty medenej fólie ako aj kvality jej povrchu. Pokovenie plochých medených vodičov DPS ovplyvňuje ich vodivosť, čo má vplyv na vývin tepla pri vysokých hodnotách odporov.
- *Povrchový odpor* plátovanej DPS (10^8 - $10^{16} \Omega$) a *odolnosť voči plazivým prúdom* charakterizuje kvalitu izolácie v medzerách.
- *Rezistivita* DPS, ktorá sa pohybuje v rozmedzí 10^{11} - $10^{20} \Omega m$, určuje prah vodivosti a skratu.
- *Relatívna permitivita* $\epsilon_r = f(T, \omega) \cong (2 - 10 \text{ pri } 1 \text{ MHz})$ DPS ovplyvňuje kapacitné väzby a bežne sa pohybuje v rozpätí od 4 do 6.
- *Súčiniteľ dielektrických strát* $\tan \delta = f(T, \omega)$ DPS ovplyvňuje útlm signálov (straty vedením).
- *Prierné napätie* DPS súvisí s bezpečnou vzdialenosťou vrstiev vodivých obrazcov najmä u viacvrstvových DPS. Jeho hodnota závisí od geometrických parametrov plochých vodičov.
- *Elektrická pevnosť* DPS určuje možné zaťaženie vzhľadom k hrúbke DPS a pohybuje sa v rozmedzí 10^7 - 10^8 V/m .

b/ Mechanické vlastnosti:

Tab. 1 Typické vlastnosti obojstranne plátovaného laminátu DPS (h = 1,5 mm)

		Materiál (označenie podľa normy NEMA)					
		XXXPC	FR-2	FR-3	G-10	G-11	FR-4
Merná hmotnosť	g.cm^{-3}	1,28	1,30	1,45	1,75	1,75	1,85
Koef. dĺž. rozťažnosti α_r pozdĺž dosky	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	11	11	13	10	10	11
Koef. dĺž. rozťažnosti α_r naprieč dosky	$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$	12	12	15	15	14	15
Merná teplotná vodivosť λ	$\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$	0,24	0,24	0,23	0,26	0,25	0,25
Relatívna permitivita ϵ_r (1 MHz)	-	4,5	4,5	4,6	5,0	5,1	4,9
Pevnosť v ťahu σ_t naprieč dosky	MPa	71	70	110	351	351	351
Pevnosť v ťahu σ_t pozdĺž dosky	MPa	92	88	83	280	280	280
Pevnosť v ohybe σ_o naprieč dosky	MPa	71	66	63	235	235	235
Pevnosť v ohybe σ_o pozdĺž dosky	MPa	82	80	140	421	421	421
Povrchový odpor	$\text{M}\Omega$	1000	1000	10 000	10 000	10 000	10 000
Nasiakavosť	%	0,8	0,8	0,75	0,35	0,35	0,35

- *Mechanická pevnosť v ohybe (od 70 do 450 MPa) a mechanická pevnosť v ťahu (od 70 do 350 MPa)* u DPS svedčia o kvalite základných materiálov DPS. Mechanické skúšky v ťahu a v ohybe sa u DPS robia podľa príslušných noriem najmä z dôvodu rozdielnych vlastností v rovnobežnom a kolmom smere.

- *Pevnosť v lúpaní medenej fólie* DPS sa stanovuje skúškou, pri ktorej sa meria sila potrebná na odlúpnutie medenej fólie na 1 m dĺžky DPS. Okrem tejto mechanickej odolnosti sa skúška v lúpaní medenej fólie robí za účelom stanovenia odolnosti DPS voči pôsobeniu rozpúšťadiel a galvanických roztokov, ako aj pri a po teplotnej námahe DPS.
- *Rovinnosť, skrútenie, prehnutie a prípadne porušenie DPS* súvisí s rozdielnymi vlastnosťami laminátu a medenej fólie plátovanej na jeho povrchu. Po odleptaní medenej fólie sa DPS často narovnajú. Kvantitatívne hodnoty týchto vlastností poukazujú na použiteľnosť DPS pri montáži súčiastok, hlavne u dosiek s priamymi konektormi.
- *Ohybnosť* ako prejav pružného stavu DPS sa vyjadruje počtom ohybov do prerušenia plošných vodičov.
- *Rozmerová stálosť* DPS je garantovaná teplotným koeficientom dĺžkovej rozťažnosti α_r ($20 \cdot 10^{-7}$ - $1000 \cdot 10^{-7} \text{C}^{-1}$). Rozdielna dĺžková rozťažnosť v kolmom, pozdĺžnom a priečnom smere majú vplyv na zmrštenie základného materiálu a zachovanie rozmerov pri dierovaní. Táto vlastnosť je v technológii povrchovej montáže SMT veľmi dôležitá.
- *Strihateľnosť* DPS má vplyv na kvalitu dierovania, deformáciu okrajov a lisovanie obrysov a je tiež ukazovateľom kvality základného materiálu DPS.

c/ Špeciálne vlastnosti

- *Teplotná odolnosť pri spájkovaní* sa u DPS skúša z dôvodu nebezpečia porušenia laminovania a tvorby vypuklín v medenej fólii. Táto skúška sa aplikuje najmä pri DPS, ktoré budú podrobené spájkovaniu vlnou.
- *Merná teplotná vodivosť* λ ($0,1$ - $0,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) DPS sa meria po ich trvalom teplotnom zaťažení počas 100 - 500 h.
- *Horľavosťou* DPS sa posudzuje odolnosť pri horení a samozhášavosť DPS (dôležitá vlastnosť pri vysokých prúdových záťažoch, kde je hrozba „prepálenia spoja“).
- *Prieľadnosť* uľahčuje kontrolu spojov po oboch stranách DPS. Skúša sa minimálna absorpcia UV a IR žiarenia pri vytváraní povlakov.
- *Nasiakavosť* DPS, ktorá určuje schopnosť DPS pohltiť vlhkosť v %, rozhoduje o spôsobe použitia materiálu, o jeho spracovateľnosti a má vplyv aj na skladovateľnosť DPS.
- *Iné vlastnosti*: obsah živice v lamináte, jej viskozita a miera vytvrdenia súvisia najmä s vlastnosťami lepiacich listov.

b) Materiály pre neohybné DPS

Laminát DPS môže byť z jednej alebo dvoch strán plátovaný medenými fóliami, ktorých hrúbka býva najčastejšie 17,5; 35 a 70 μm . Základné parametre z pohľadu technológie spracovania DPS sú mechanická pevnosť, pevnosť v lúpaní medenej fólie a nasiakavosť. Z pohľadu konštrukcie elektronického

obvodu rozhodujú o kvalite DPS samozhášavosť, možnosť frekvenčného zaťaženia, a teplotná dĺžková rozťažnosť. Skladbu laminátu t.j. druh a obsah výstuže a spojiva možno kombinovať:

Celulóзовý papier / fenolická živica: Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-2 (flame resistant – odolnosť voči horeniu) alebo ako XXXPC. FR-2 je samozhášavý. DPS sú vhodné pre použitie pri teplotách 70 – 105°C. Nízke teploty spôsobujú degradáciu vlastností a na druhej strane napr. pri vysokých hodnotách rezistorov, u ktorých sa vyvíja veľké množstvo tepla, dochádza lokálne k nadmernému ohrevu základného materiálu, následne k prepáleniu DPS a k jej karbonizácii a v dôsledku toho k poklesu izolačného odporu. Skladba materiálu celulóзовý papier / fenolická živica sa používa pre výrobu jednostranných alebo obojstranných DPS, ktoré sú plátované medenou fóliou 17,5 a 35 µm. Tento materiál má dlhú tradíciu a podieľa sa na 40 % aplikácií. Je cenovo výhodný a vhodný pre menej náročné aplikácie napr. spotrebnú elektroniku. Je málo odolný voči vlhkému prostrediu. Býva hnedý a nepriehľadný.

Celulóзовý papier / sklené vlákno / epoxidová živica: Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-3, CEM-1 a CEM-3. FR-3 však neobsahuje sklené vlákno a keďže je lacnejší ako FR-4 môže slúžiť ako jeho náhrada. DPS majú lepšie, najmä elektrické ale aj mechanické vlastnosti ako FR-2. Používajú sa pre teploty 90 – 110°C a v závislosti na hrúbke majú lepšiu odolnosť v ohybe, lepšie izolačné vlastnosti a odolnosť voči vlhkosti. Používajú sa v menej náročných aplikáciách oznamovacej techniky. Majú vysoký izolačný odpor, sú dobre strihateľné a samozhášavé. Mávajú krémovú farbu a bývajú nepriehľadné.

Sklené vlákno / epoxidová živica: Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-4, FR-5, G10 a G11. DPS majú ešte lepšie mechanické vlastnosti, rovinatosť, odolnosť voči tepelnému rázu pri spájkovaní a dobré elektrické vlastnosti. Sú málo nasiakavé, pomerne rozmerovo stále, chemicky odolné, nehorľavé (tzv. samozhášavé typy). Používajú sa pre teploty do 150°C, pre náročné oblasti priemyselnej techniky (ako meracia alebo výpočtová technika), pre klasické obojstranné plošné spoje s prekovenými otvormi a tiež pre viacvrstvové DPS. Sú biele, modré alebo zelené a priesvitné. Z tejto kategórie materiálov DPS je v súčasnosti najčastejšie používaný v rozličných elektronických aplikáciách materiál **FR-4** a to i napriek tomu, že v porovnaní napr. s materiálom FR-5, ktorý sa vyznačuje vyššou tepelnou odolnosťou avšak i vyššou cenou, má horšie vlastnosti. Materiál FR-4 má dobré mechanické vlastnosti a to vďaka tomu, že je vystužený spradeným sklotextilom. Môže byť zložený z niekoľkých listov prepregu (nevytvrdený lepiaci list), ktoré vznikli naimpregnovaním sklenej tkaniny epoxidom a to v hrúbkach 0,65 až 1,6 mm. Materiál FR-4 je pomerne lacný a má dobré dielektrické vlastnosti vhodné pre elektronické aplikácie. Nie je vhodný pre vysokofrekvenčné aplikácie. Používa sa aj pre výrobu viacvrstvových DPS. Existuje aj niekoľko nevýhod, pre ktoré niekedy výrobcovia zvažujú jeho použitie. Materiál FR-4 nie je rozmerovo stály, čo môže spôsobiť problémy hlavne pri osadzovaní elektronických súčiastok. V procese spájkovania veľmi často epoxidová živica v okolí teploty tavenia (120 až 160°C) mäkne a pritom sa môžu porušiť mechanické vlastnosti. Okrem toho sa pri ich obrábaní vytvára

zdraviu škodlivý živcový prach plný sklenených vlákien. Pri mechanickom vŕtaní otvorov, v dôsledku trenia, dochádza k taveniu epoxidu, ktorý sa rozmazáva po nepokrytej medi a bráni tak následnému pokovaniu otvorov.

Sklená rohož / polyesterová živica: Podľa medzinárodného štandardu NEMA sa tento typ materiálu klasifikuje ako FR-6. Vlastnosti DPS sú horšie ako u sklenej tkaniny, ale lepšie ako u papiera. Sú dobre strihateľné, majú konštantné dielektrické vlastnosti v oblasti vysokých frekvencií aj pri pôsobení vlhkosti a nízku relatívnu permitivitu. Sú odolné voči elektrickému oblúku, voči nárazom napätia, sú samozhášavé a ekonomicky výhodné. Používajú sa v kanálových voličoch televízorov a pre teploty 100 – 105°C. Bývajú biele a nepriehľadné.

Sklená tkanina / polytetrafluóretylén: Podľa medzinárodného štandardu NEMA LI-1sa tento typ materiálu klasifikuje ako GT a GX. DPS sú tepelne stále, nenasiakavé, majú výborné dielektrické a elektrické vlastnosti, hlavne zaručenú malú relatívnu permitivitu aj pri vysokých frekvenciách. Používajú sa v oblasti telekomunikácií a prístrojoch pracujúcich s RTG žiarením. Sú hnedé a priesvitné.

Sklená tkanina / polyimidová živica: U týchto DPS sa niekedy pre dosiahnutie veľkej pevnosti používa aj uhlíkové vlákno. DPS sa používajú pre teploty väčšie ako 200°C, sú odolné proti oxidácii a degradácii a majú nízky teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti v smere osi z. Sú veľmi drahé a používajú sa najmä pre špeciálne a vojenské účely pre veľmi náročné a pre viacvrstvové DPS. Sú tmavohnedé a priesvitné.

c) Materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách

Materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách predstavujú skupinu materiálov, ktorých postup výroby je prakticky zhodný s výrobou neohybných DPS. Základný materiál je na báze ohybných fólií s maximálnou hrúbkou 250 µm, na ktorý sa ako na izolačnú nosnú vrstvu lepiacim lakom viaže medená fólia.

Jednovrstvové ohybné plošné spoje sa najčastejšie zhotovujú z polyimidového alebo polyesterového filmu, ktorého hrúbka je od 12,5 do 125 µm. Vodivý obrazec sa chemicky leptá z Cu fólie, ktorá sa lepí na základný materiál napr. akrylátovým lepidlom. Väčšina vyleptaných obrazcov ohybných plošných spojov sa ovrstvuje krycou vrstvou s vynechanými otvormi pre pripojenie súčiastok a vývodov. Existujú dva základné druhy krycích vrstiev: sieťotlačová pasta, ktorá má podobné vlastnosti ako nespájkova maska, avšak je pružnejšia. Druhý typ krycej vrstvy má podobné vlastnosti ako základný materiál bez medenej fólie. Tento materiál sa na základnú fóliu lepí alebo laminuje s už vylisovanými otvormi pre súčiastky a prepojenia.

Dvojevrstvové ohybné spoje majú mnoho spoločných črt s pevnými DPS. Medená fólia je naplátovaná na oboch stranách, vŕtané otvory sa pokovujú, a pod. Teoreticky je možné vytvárať aj **viacvrstvové ohybné plošné spoje**, avšak je zrejmé, že každá ďalšia vrstva bude stále viac obmedzovať

ohybnosť takého spoja, a preto sa v praxi veľmi často aplikuje kombinácia tuhých a ohybných spojov (rigid – flex).

Najčastejšie materiály pre plošné spoje na ohybných fóliách sú:

Polyetylénová fólia (PEN - polyethylene naphtalate) je na báze vysokoteplotne odolnej fólie, ktorá je odolná voči vode, pare a rozpúšťadlám. Aplikuje sa pre teploty do 160°C. Táto fólia je dobrý elektrický izolant a používa sa pre ohybné DPS, ohybné káble, tlačené spoje a aplikácie v strojoch.

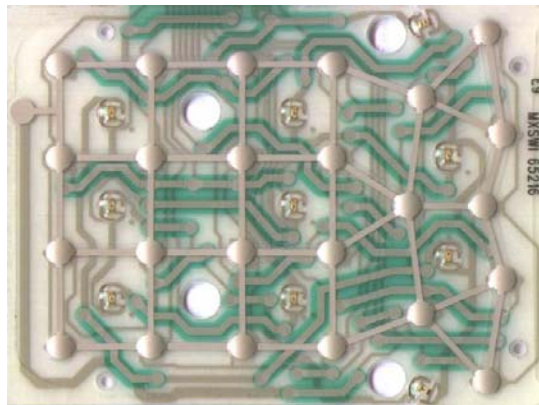
Polyesterové fólie (PET - Polyester), ktoré sú vysoko ohybné (môžu tvoriť napr. pružnú cievku). Používajú sa v rozpätí 80 – 130°C. Pri spájkovaní sa musí zachovať technologický postup, lebo materiál mäkne a porušuje sa jeho mechanická pevnosť a teda nie je vhodný pre hromadné spájkovanie. Má výborné elektrické vlastnosti aj pri vysokej vlhkosti.

Polyimidové fólie (PI – Polyimid označovaný Kapton) majú veľmi dobrú ohybnosť a ak sa pred ohrevom odstráni vlhkosť, dajú sa aj spájať. Do hrúbky 130 µm znášajú trvalo teploty od - 40 do 230°C a krátkodobo do 400°C. Sú veľmi drahé (10 násobne viac ako polyesterová fólia), a preto sa používajú len na špeciálne účely (kamery, kazetové prístroje vysokej technickej úrovne).

Fólie z fluorovaných polymérov sa vyrábajú v hrúbke 25 - 125 µm. Sú tepelne stále, málo nasiakavé a majú malú relatívnu permitivitu. Používajú sa v oblasti vysokých teplôt a vysokých frekvencií (metrológia, telekomunikácie).

Aramidový papier má výbornú tepelnú odolnosť a rovnakú cenu ako polyesterová fólia. Má široké uplatnenie.

Na fóliách ohybných DPS sa medená fólia lepí podľa použitia polyesterovým, polyimidovým (Ietectvo) alebo samozhášavým akrylátovým lakom.



Obr. 4 Bublínkové klávesnicové kontakty protiľahlých fóliových substrátov

Ukážka fóliového typu klávesnice zhotovená z flexibilnej polyesterovej fólie, na ktorej sú vodivé polymérne dráhy, dielektrické vrstvy a vodivé premostenia nanosené hrubovrstvovou technikou, je na obr.

4. Vodivý kontakt možno sprostredkovať vodivou plôškou na vnútornej strane vrchnej kontaktnej fólie alebo umiestnením pružného kovového mostíka (Metal Dome).

Typické vlastnosti základných materiálov ohybných spojov sú v tab. 2:

Tab. 2 Typické vlastnosti základných materiálov ohybných spojov

Vlastnosť	Polyester	Polyimid (Kraften)	Polyimid (U – Pilex)	Skloepoxid
Hrúbka (μm)	25, 50, 70, 100, 125, 188	12,5, 25, 50, 75, 125	12,5, 25, 50, 75, 125	100, 200
Pevnosť v ťahu (kPa) . 10 ³	138 – 241	172	393	241 – 689
Predĺženie (%)	65 – 165	70	30	4
Rozsah teplôt (°C)	-60 až 1 105	-200 až 300	-200 až 300	-55 až + 150
Relatívna permitivita (1MHz)	3	3,4	3,5	4,5 – 5,3
Stratový činiteľ (1MHz)	0,02	0,01	0,0013	0,01 – 0,02
Pružnosť	výborná	Výborná	Výborná	Malá
Tepelná odolnosť voči spájkovaniu	Malá	Dobrá	Výborná	Dobrá
Nasiakavosť vodou	Malá	Vysoká	Stredná	Malá
cena	Nízka	Vysoká	Vysoká	stredná