

Průběh řešení a dosažené výsledky v oblasti návrhu a měření spolehlivosti mikroelektronických 3D struktur

Úkol je možno rozdělit na teoretickou a praktickou část. V rámci praktické části bylo řešeno,

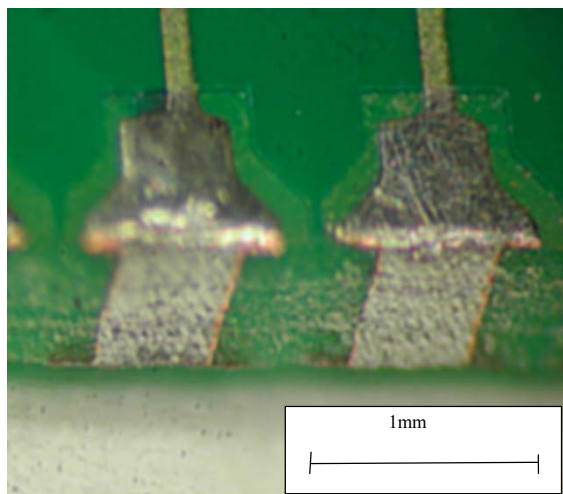
- 1) Bylo navrženo a zkoušeno spojení materiálů se stejnou a různou tepelnou roztažností použitelné u 3D mikroelektronických struktur. Bylo zkoumáno spojení materiálů FR4 a korundové keramiky (Alumina). Elektrické spojení bylo realizováno olovnatou i bezolovnatou pájkou.
- 2) U navržených vzorků byla měřena elektrická spolehlivost spojení při termomechanickém namáhání. Byla porovnána spolehlivost spojení s olovnatou a bezolovnatou pájkou.
- 3) Výsledky praktického měření byly porovnány s počítačovou simulací. (program ANSYS) a výpočtem

1. Návrh, realizace a měření spojení

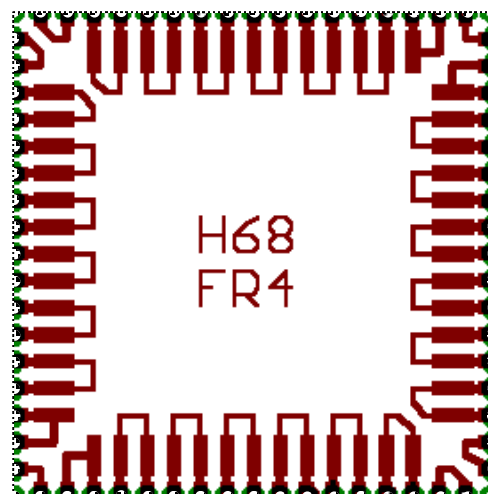
1.1 Spojení FR4-FR4 na sebe vrstvených struktur

Vodivé spojení bylo realizováno na hraně jak ukazuje obrázek 1.1a. Pro realizaci spojení byly aplikovány standardní technologické postupy používané při výrobě plošných spojů (realizace prokoveného otvoru, frézování) a realizován tzv. SMVPH systém (Special Modified Via Plated Hole)

Byl realizován měřící vzorek podle obrázku 1.1.b). Byla realizována 3D struktura, (obr.1.1.2) která byla podrobena měření spolehlivosti.



a) provedení vodivého spojení na hraně



b) realizace vzorku pro měření spolehlivosti

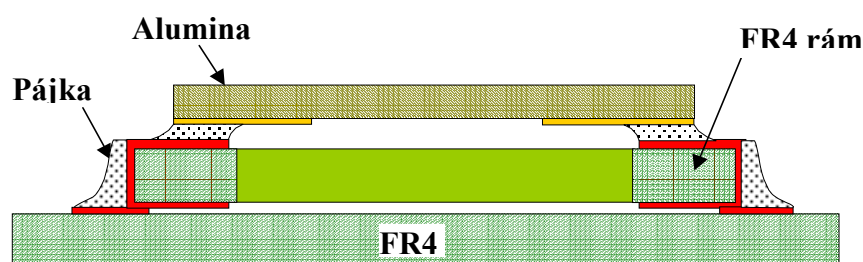
Obr.1.1.1: Spojení SMVPH a tvar měřícího vzorku



Obrázek 1.1.2: Měřicí vzorek FR4-FR4

1.2 Spojení FR4-FR4 – keramika na sebe vrstvených struktur

V tomto případě byl navržen a realizován měřicí vzorek podle obrázku 1.2.1.

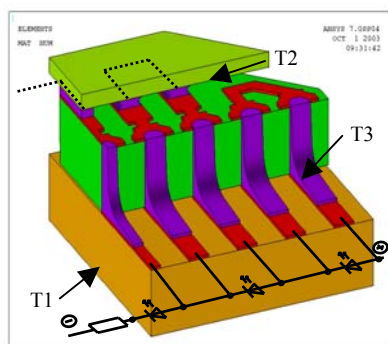


Obr.1.2.1: Měřicí vzorek pro spojení FR4 keramika

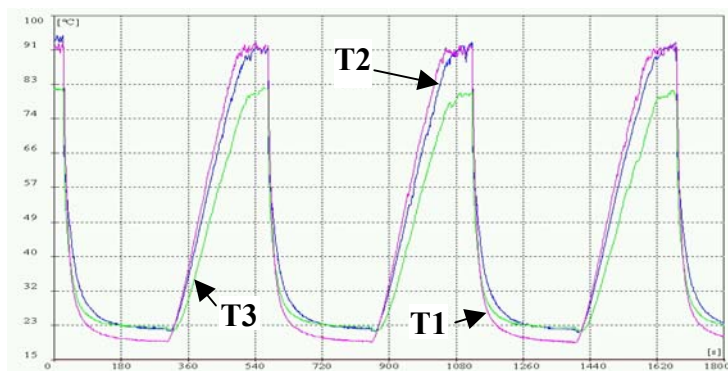
Jedná se o návrh spojení materiálů s různou tepelnou délkovou roztažností tj. FR4 a keramika. Mezi vrstvou keramiky a základní desku je vložen FR4 rám ne kterém je realizováno hranové SMVPH propojení. Toto řešení zvětšuje celkovou výšku pájeného propojení což má příznivý vliv na celkovou mechanickou pružnost propojení a výrazně snižuje mechanické namáhání. Provedení s rámem rovněž umožňuje skládání osazených vrstev na sebe.

1.3 Měření spolehlivosti

Na obou popisovaných vzorcích byly provedeny zkoušky životnosti pájeného spoje při cyklickém tepelném namáhání v rozmezí teplot od 18 do podle obrázku 1.3.2. Přerušení vodivého spojení bylo indikováno svitem LED diody, průběžné měření resistivity spoje čtyřbodovou metodou se ukázalo jako nepoužitelné. Proto bylo použito propojení podle obr.1.3.1. V případě přerušení spoje se zruší elektrické přemostění napájené LED diody.



Obr.1.3.1.:Elektrické propojení kontaktů



Obr. 1.3.2: Průběh teplotních cyklů

Měření bylo prováděno pro olovnatou pájku a bezolovnatou pájku. Spojení bylo realizováno přetavením pájecí pasty LITTON KESTER R 256 NC a Sn62/Pb/Ag2/90-3 (olovnatá) a bezolovnaté R910, Sn95.5/3.8/Cu0.7/89-3.

V následujících tabulkách tab.1.3.1 a tab.1.3.2 jsou uvedeny výsledky měření s výsledky výpočtu podle Engelmaiera [1].

Tab: 1.3.1: Výsledky měření a výpočet doby života systému FR4-FR4

Měření FR4-FR4 (SMVPH)					
Teplotní cykly 20/95°C/9min Systém SMVPH	Cykly	Sn/Pb pájka		LF pájka	
		Počet závad	%	Počet závad	%
	0-8000	0	0	0	0
	>8000 – 10 000	7	26.9	0	0
	>10000	7	26.9	0	0
Výpočet podle Engelmaiera ²⁾		Počet cyklů N_f ¹⁾			
		Min.	Max.	Min.	Max.
		5 254	10 821	-	-

Tab: 1.3.2: Výsledky měření a výpočet doby života systému FR4-FR4 rám-keramická vrstva

Měření FR4-FR4 rám-ceramická vrstva							
Teplotní cykly 20/95°C/9min Systém SMVPH	Cykly	Sn/Pb pájka		LF pájka		Reference	
		Počet závad	%	Počet závad	%	Počet závad	%
	0-1000	1	2.1	0	0	7	29.2
	>1000- 3000	20	41.7	1	2.1	7	29.2
	>3000- 5000	25	52.1	14	29.2	7	29.2
	>5000- 7000	37	77.1	28	58.3	7	29.2
	>7000- 9000	47	97.9	33	68.8	7	29.2
	>9000 11000	48	100	38	79.2	9	37.5
	Výpočet podle Engelmaiera ²⁾		Počet cyklů N_f				
		Min.	Max.	Min.	Max. -	Min. ¹⁾ -	Max. ¹⁾
		-	-	-	-	876	1420

¹⁾ Vzorek má pravoúhlý tvar, takže N_f v rozích je větší, je uvažován teplotní rozdíl mezi horní a dolní vrstvou

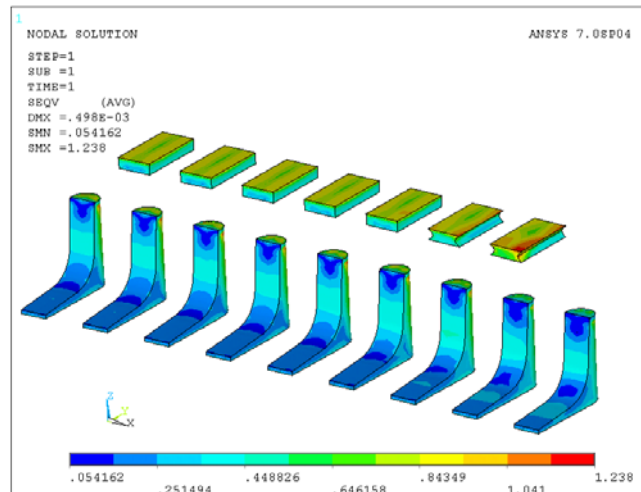
1.4 Počítačová simulace spojení

Pro porovnání výsledků a pro stanovení optimálního tvaru rámu byly realizovány počítačové simulace v programu ANSYS. Byly sestaveny globální geometrické modely navrhovaných sestav a bylo simulováno,

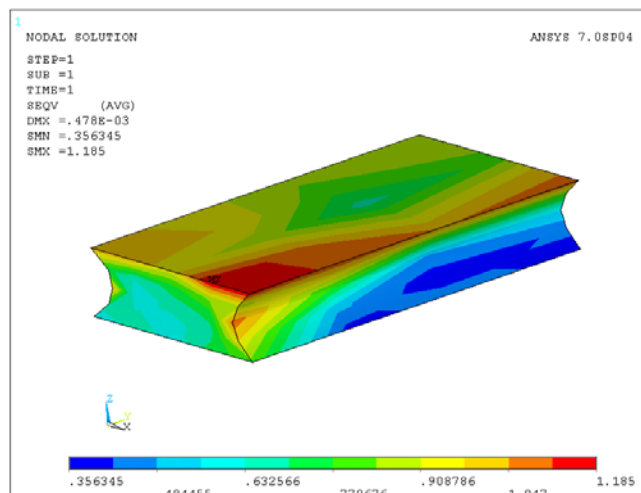
- pnutí ve struktuře (podle Von Misesse)
- celkový posuv a průhyb
- celkové mechanické přetvoření

U sestavy systému FR4-FR4 rám-keramická vrstva byl realizován lokální model a provedena nelineární analýza a simulována plastická přetvárná práce podle viskoplastického Anandova modelu. Tato simulace byla realizována pouze pro olovnatou pájku, jelikož nebyly k dispozici materiálové konstanty pro bezolovnatou SAC pájku.

Na následujících obrázcích jsou uvedeny některé výsledky simulace.

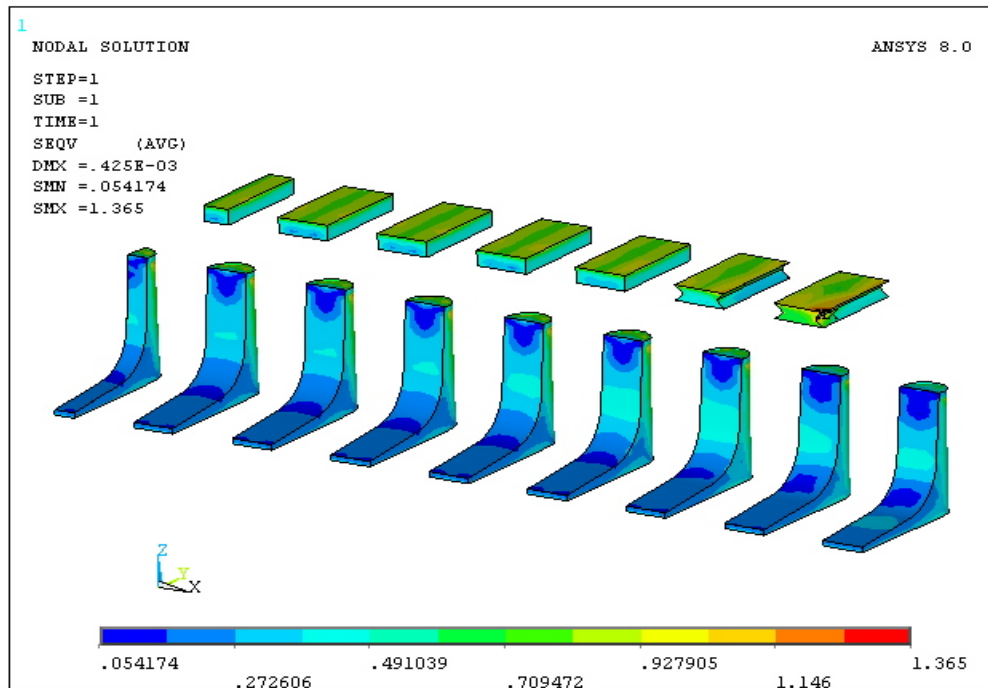


a) Globální model

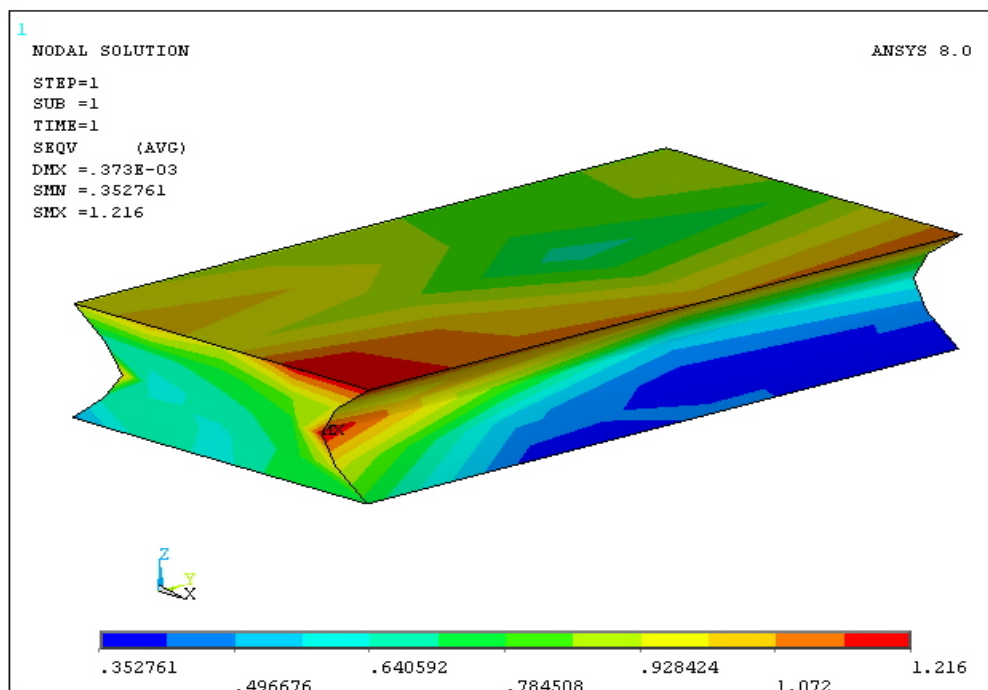


b) Detail horního připojení

Obr 1 4 1 Pnutí [MPa] pro eutektickou pájku Sn/Pb

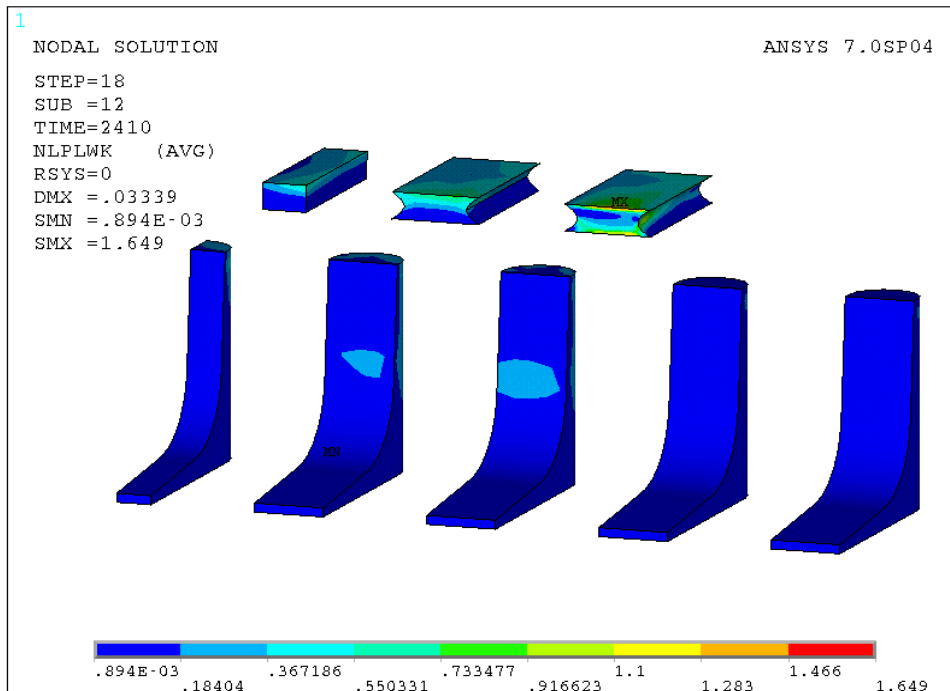


a) globální model

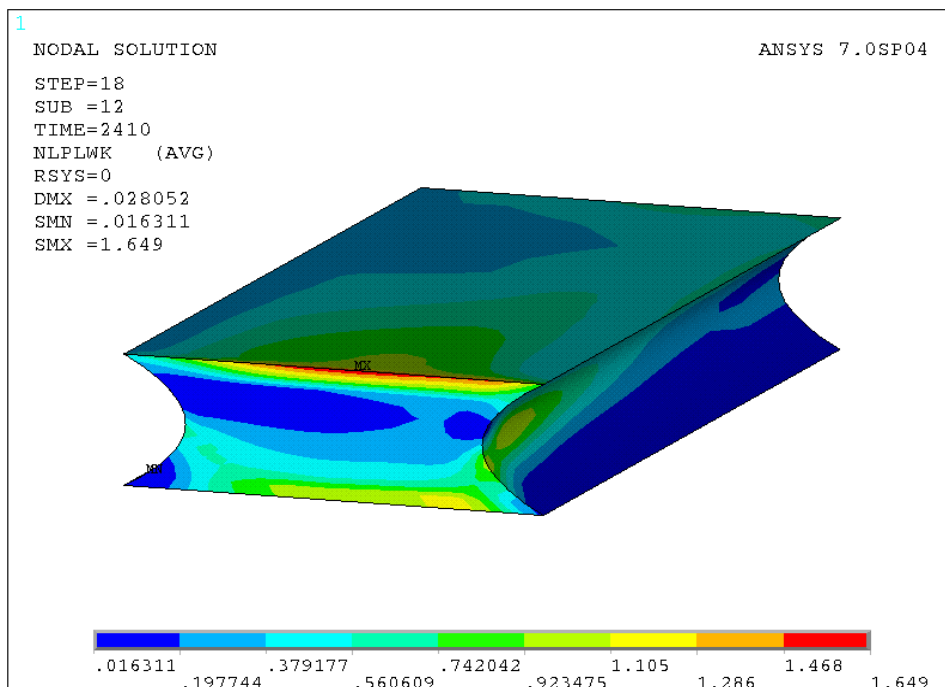


b) Detail horního spojení

Obr.1.4.2: Pnutí [MPa] pro eutectickou Sn/Pb pájku



a) celkový pohled



b) detail

Obr.1.4.3: Hodnoty plastické přetvárné práce NLPLWK [MPa] po 4^{tém} teplotním cyklu (2410s) pro eutektickou Sn/Pb solder

1.4 Teorie pro výpočty

Hodnoty doby života byly vypočítány pouze pro olovnatou pájku. Byl použit viskoplastický model podle Darveauxe, při kterém se vychází z hodnot přetvárné práce ΔW_{ae} . Hodnota přetvárné práce byla stanovena pomocí Anandova modelu, který je implantován v software ANSYS. Teorie je uvedena v [1].

Jako alternativní metoda byla zvolena pro výpočet metoda podle Engelmaiera, podle které se doba života počítá s mechanického přetvoření, které vznikne v důsledku termomechanického namáhání. Pro tuto metodu jsou obecně známy hodnoty materiálových konstant pro eutektickou Sn/Pb pájku.

Detailnější výsledky měření a teorie je podrobně uvedena v [1], případně [2]

Literatura:

- [1] ŠANDERA, *Design and Reliability of the Connection in 3D Electronic Systems*, disertační práce, VUT FEKT Brno, 2004
- [2] Josef Šandera, *Design and Reliability of the Connection in 3D Electronic Systems*, Vědecké spisy VUT, Edice PhD Thesis, sv.275, ISSN 1213-4198