

METODIKA ZPŘÍSTUPNĚNÍ ČIPU ZAPOUZDŘENÝCH SOUČÁSTEK

Pavel Pečiva

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel PEČIVA**
Osobní číslo: **A10650**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Metodika zpřístupnění čipu zapouzdřených součástek**

Zásady pro vypracování:

1. Z dostupných zdrojů prostudujte materiálové složení standardních pouzder integrovaných obvodů a varianty technologií pro selektivní odstraňování těchto materiálů v oblasti čipu při zachování čitelnosti popisu a funkčnosti systému na čipu.
2. Zpracujte přehled použitelných technologií zpřístupnění čipu zapouzdřených polovodičových součástek, zejména integrovaných obvodů, jejich aplikační možnosti, náročnost na instalaci a spotřební materiál, dosažitelné výsledky a cenové relace.
3. Zaměřte se na technologii zpřístupnění čipu ručním leptáním, případně na kombinaci odstranění části materiálu pouzdra laserem a finálního leptání.
4. Na vybraných vzorcích zapouzdřených integrovaných obvodů proveďte experimentální otevření pouzdra v oblasti čipu pomocí chemických technologií s dokumentací podmínek a dosažených výsledků.
5. Zpracujte ilustrační příklad analytického postupu při hodnocení původnosti součástky v průmyslu.
6. Výsledky své práce zpracujte do instruktážní prezentace nebo ve formě příručky ve formátu PDF.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **M. Crawford, et al., Defense Industrial Base Assessment. In: Counterfeit Electronics, Report of U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, Office of Technology Evaluation, January 2010.**
2. **Martin, P.L.: Electronic Failure Analysis Handbook. McGraw-Hill, 1999.**
3. **Harper, C.A.: Electronic Materials And Processes Handbook. McGraw-Hill, 2004.**
4. **Materials Park, Ohio : ASM International, 2012 – ISTFA 2012 : conference proceedings from the 38th International Symposium for Testing and Failure Analysis : November 11–15, 2012, Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona, USA.**
5. **Richard J.Ross Microelectronics Failure Analysis Desk Reference 6th edition,ASM International, 2011.**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Neumann, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

7. března 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem práce je prostudovat z dostupných zdrojů stávající metody a příslušná zařízení pro odstranění části zapouzdření elektronických součástek, především integrovaných obvodů zapouzdřených v plastových a keramických materiálech. Součástí práce je přehledné zpracování popsaných metod s příklady aplikací včetně vyobrazení a vytvoření jednoduchého návodu, podle kterého bude možné metody reprodukovat.

Klíčová slova: Integrovaný obvod, IO Odpouzdření, IO Odvíčkování, IO pouzdro, čip, padělek

ABSTRACT

The aim of thesis is to study the available resources existing methods and appropriate equipment for the removal of encapsulation of electronic components, particularly integrated circuits encapsulated in plastic and ceramic materials. Part of the work is surveys of the methods described above with application examples including images and create simple instructions according to which the method can be reproduced.

Keywords: Integration Circuit, IC Decapsulation, Delidding IC, IC package, Die, Counterfeit

Tímto chci poděkovat panu Ing. Vladislavu Hrachovci za pomoc při rozpouzdření pouzdra pomocí kyselin a taktéž za cenné rady a materiály, které při dokončování této bakalářské práce velmi pomohly. Poděkování také patří mému zaměstnavateli, společnosti ON Semiconductor s.r.o. za poskytnutí laboratoře pro experimenty.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 INTEGROVANÝ OBVOD | 12 |
| 1.1 TYPY POUZDER..... | 12 |
| 1.1.1 Dual-in-Line Package..... | 13 |
| 1.1.2 Small Out-line..... | 15 |
| 1.1.2.1 Small Out-Line Integrated Circuit..... | 15 |
| 1.1.2.2 Small Out-Line Package..... | 15 |
| 1.1.3 Quad Flat Package..... | 16 |
| 1.2 KONSTRUKCE A POUŽITÉ MATERIÁLY..... | 17 |
| 1.2.1 Montážní rámeček..... | 17 |
| 1.2.1.1 Nilo alloy 42 (ASTM F30)..... | 19 |
| 1.2.1.2 Měď..... | 19 |
| 1.2.2 Propojovací vodiče..... | 19 |
| 1.2.2.1 Hliník..... | 20 |
| 1.2.2.2 Měděný drát..... | 20 |
| 1.2.2.3 Zlatý Drát..... | 20 |
| 1.2.3 Pouzdro..... | 21 |
| 1.2.3.1 Plastová pouzdra (Epoxydy)..... | 21 |
| 1.2.3.2 Keramika..... | 23 |
| 1.2.4 Polovodičový čip..... | 24 |
| 2 METODY ZPŘÍSTUPNĚNÍ | 25 |
| 2.1 CHEMICKÉ LEPTÁNÍ..... | 25 |
| 2.2 LASEROVÉ OZAŘOVÁNÍ..... | 26 |
| 2.3 PLAZMATICKÉ LEPTÁNÍ..... | 27 |
| 2.4 MECHANICKÉ METODY..... | 27 |
| 3 CHYBNÉ PROJEVY PADĚLANÝCH ELEKTRONICKÝ SOUČÁSTEK | 29 |
| 3.1 VADY NA POLOVODIČOVÉM ČIPU..... | 29 |
| 3.1.1 Koroze..... | 29 |
| 3.1.2 Elektromigrace..... | 29 |
| 3.1.3 Porušení dielektrické vrstvy..... | 29 |
| 3.1.4 Elektrické přepětí..... | 30 |
| 3.1.5 Horké nosiče (Hot Carrier Injection)..... | 30 |
| 3.2 VADY POUZDRA..... | 30 |
| 3.2.1 Zkrat propojovacích drátků..... | 30 |
| 3.2.1.1 Zkrat vodič-vodič..... | 30 |
| 3.2.1.2 Zkrat vodič-čip..... | 30 |
| 3.2.2 Externí a interní kontaminace..... | 31 |
| 3.2.3 Vady montážního rámečku a vývodů..... | 31 |
| 3.2.3.1 Vytažení vývodů (Lead pulling)..... | 31 |
| 3.2.3.2 Ulomení vývodů (Lead tearing)..... | 31 |
| 3.2.4 Praskliny pouzder..... | 31 |
| 3.2.4.1 Keramická pouzdra..... | 31 |
| 3.2.4.2 Plastová pouzdra..... | 31 |

| | |
|--|-----------|
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 32 |
| 4 ÚVOD | 33 |
| 5 CHEMICKÁ METODA | 34 |
| 5.1 VYBAVENÍ LABORATOŘE, BEZPEČNOST, PŘÍPRAVA | 34 |
| 5.1.1 Technické vybavení | 34 |
| 5.1.2 Použitá média | 37 |
| 5.1.3 Osobní ochranné pomůcky | 37 |
| 5.1.4 První pomoc | 38 |
| 5.1.5 Příprava | 39 |
| 5.2 KOMBINOVANÁ METODA LASER-CHEMIE | 40 |
| 5.2.1 Postup | 40 |
| 5.2.2 Vyhodnocení | 45 |
| 5.3 ZJEDNODUŠENÁ CHEMICKÁ METODA | 48 |
| 5.3.1 Postup | 48 |
| 5.3.2 Vyhodnocení | 50 |
| 6 MECHANICKÁ METODA | 53 |
| 6.1 MECHANICKÉ NÁSTROJE, VYBAVENÍ | 53 |
| 6.2 ODPOUZDŘOVÁNÍ CERDIP S OBVODOVÝM TĚSNĚNÍM | 53 |
| 6.3 ODPOUZDŘENÍ CERDIP S PÁJENÝM VÍČKEM | 56 |
| ZÁVĚR | 59 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 60 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 63 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 66 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 68 |
| PŘÍLOHA P I: NÁVOD PRO ZPŘÍSTUPNĚNÍ ČIPU INTEGROVANÝCH OBVODŮ | 69 |

ÚVOD

Integrovaný obvod je velice složitá polovodičová součástka, která od doby svého vzniku prošla obrovským vývojem. Skládá se z tranzistorů, rezistorů, kondenzátorů a diod, které tvoří jeden lépe fungující celek. V 50. letech 20. století po vynálezu tranzistorů byly IO vyráběny ručně pájením jednotlivých komponent a spojováním pomocí drátu. Bylo ihned jasné, že ruční montáž velkého množství malých součástek bude mít za následek generování vadných spojení a u složitějšího obvodu také velikost. S řešením přišel v roce 1958 Jack Kilby v laboratořích americké společnosti Texas Instruments. Jeho vize byla ve výrobě všech součástí IO do jednoho monolitického bloku z polovodičového materiálu, převážně křemíku. [1] Průkopnický nápad měl za následek automatizaci, miniaturizaci a vyšší stupeň integrace součástek, která v 60. letech 20. století dosahovala počtu maximálně 100 součástek na 1 Integrovaný Obvod, dnes se vyrábějí mikroprocesory, které obsahují více jak 1×10^9 součástek. [2]

Finální fáze výroby je montáž integrovaného obvodu do pouzdra, tento postup se nazývá zapouzďení. Pouzdro chrání čip před chemickým a mechanickým působením, zvyšuje jeho životnost a zachovává specifika a parametry, který výrobce stanovil technologii výroby. Jakékoliv agresivní prostředí, vlhkost, vysoké či nízké teploty, střídání teplot, vibrace či jiné mechanické namáhání může mít za následek zničení či špatnou funkci integrovaného obvodu.

Druhotnou funkcí pouzdra je značení pro rozpoznání typu čipu, obvykle jsou to loga společnosti, alfanumerické kódy, slova vytištěná v horní části obalu pro identifikaci výrobce, datum kdy byl integrovaný obvod vyroben, nejčastěji rok a číslo týdne, a jiné chráněné informace, číslo revize, kód výrobního závodu.

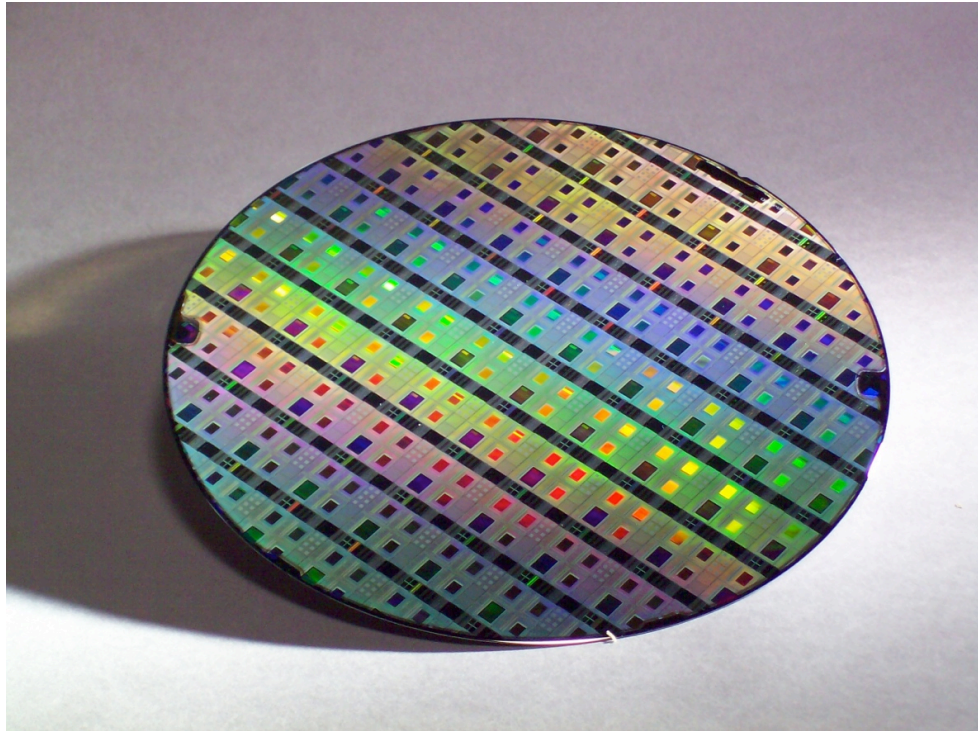
Tato bakalářská práce pojednává o problematice zpřístupnění polovodičových zapouzďených součástek, převážně pak pouzder plastových a keramických. V českém prostředí doposud neexistuje ucelený návod na zpřístupnění polovodičového čipu pro budoucí analýzy, například padělaných integrovaných obvodů. V zahraničních publikacích jsou informace chaotické, roztráštěné a popisují metody odlišným technologickým postupem. Mým úkolem je tyto informace shromáždit a pomocí laboratoře a zázemí pro analýzu integrovaných obvodů ve společnosti ON Semiconductor s.r.o. v Rožnově pod Radhoštěm provést zpřístupnění vybraných pouzder a zároveň zachovat funkčnost

elektronické součástky – čipu. Tyto metody poté sepsat co nejjednodušeji jako „návod k použití“ tak aby byly reprodukovatelné i v jiných laboratořích s odlišným zázemím.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INTEGROVANÝ OBVOD

V této kapitole se budu zabývat pouzdry používanými pro ochranu integrovaných obvodů, popíšu nejčastější používané typy pouzder a jejich materiálové složení včetně jejich součástí a rezistenci ke konkrétním chemikáliím námi použitých v praktické části.



Obrázek 1: Polovodičová deska společnosti TSMC s hotovými obvody EEPROM

1.1 Typy pouzder

Polovodičový průmysl vyrábí velmi širokou škálu integrovaných obvodů, které mají odlišné požadavky na typ pouzdra. Při výběru vhodného pouzdra pro konkrétní typ integrovaného obvodu se berou v úvahu tyto atributy:

- Celková velikost integrovaného obvodu
- Počet vývodů
- Tvar vývodů
- Ztrátový výkon
- Provozní podmínky
- Cena

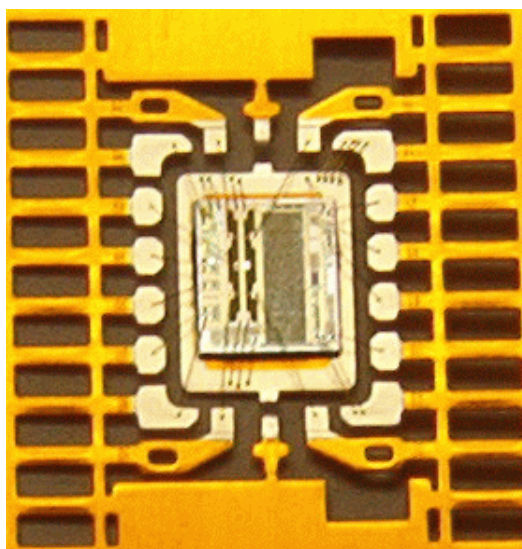
Značení pouzder se může zdát chaotické, avšak má svůj řád.

1.1.1 Dual-in-Line Package

Dual-in-Line Package neboli DIL. Je dnes nejpoužívanější typ pouzdra pro integrované obvody. Obdélníkový tvar se dvěma paralelně řazenými piny byl vyvinut v roce 1964 Bryantem Rogersem ve společnosti Fairchild Semiconductor [3] jako odezva na stále složitější obvody, které vyžadovaly větší množství signálů. V posledních 10 letech s nástupem technologie SMD (surface-mount-device) dochází pomalu k nahrazení tohoto pouzdra. Někteří výrobci ovšem nabízejí různé prototypy adapterů pro použití SMT součástek do patice DIL. U programovatelných integrovaných obvodů jako EPROM nebo GAL je stále populární DIL pouzdro, jelikož usnadňuje snadnou manipulaci s externím programovacím zařízením.

Mimo standardní integrované obvody mohou být v pouzdře DIL také přepínače, segmentová LED, rezistory nebo elektromechanické relé.

DIL pouzdra jsou nejčastěji vyráběna z neprůhledného plastu lisovaného kolem montážního rámečku (lead-frame), který zajišťuje spojení mezi integrovaným obvodem a piny. Ve středu montážního rámečku je upevněn samotný integrovaný obvod, který je spojen s piny pomocí ultra jemných drátových spojení (wire bond). Délka drátového spojení je taková, aby vytvořila mírný oblouk mezi rámečkem a obvodem, napnuté spojení by mělo za příčinu vlivem tepelné roztažnosti a smršťování přerušit a následnou nefunkčnost obvodu.

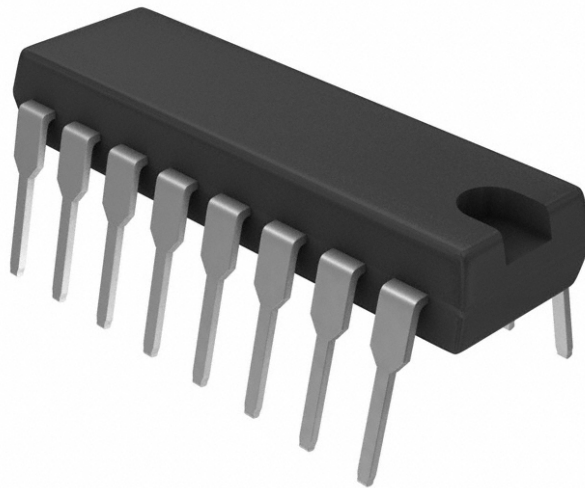


Obrázek 2: Detail Integrovaného obvodu před zapouzdrěním

U plastových pouzder není dosaženo mikroskopického těsnění z důvodu porézности materiálu, náchylnost na vlhkost je zřejmá. Některé typy integrovaných obvodů jsou proto

vyrobeny v keramickém pouzdře, kde je vyžadována odolnost proti vysokým teplotám a vyšší nároky na spolehlivost díky hermetické povaze keramického pouzdra, nebo tam, kde má integrovaný obvod optický průzor.

Rozměry se řídí dle norem organizace JEDEC SSTA. Rozteče se liší podle počtu pinů pouzdra a jsou udávány v palcových jednotkách (1 palec=2,54cm). Pouzdra mohou mít od 4 až po 128 pinů. Standardní rozteč pinů je 0,1 palce (2,54mm) pro pouzdra od 4 do 28 pinů. [4] DIL je obvykle označován jako DIL n, kde n je celkový počet vývodů (pinů). Například pouzdro se dvěma řadami čtyř vertikálních vodičů je označováno jako DIL8. Počet pinů je vždy sudý.



Obrázek 3: Pouzdro DIL16, nejčastěji využívaný typ

DIL pouzdra jsou připevněna k desce s plošnými spoji skrze otvory, tzv. through-hole montáží (THT). Při tomto způsobu osazování se piny prostrčí skrz otvory plošného spoje (DPS) a na opačné straně zapájí. Pro programovatelná zařízení, zkušební přístroje nebo tam, kde se předpokládá častější výměna integrovaného obvodu, jsou použity patice pro daný typ pouzdra. Taktéž umožňují snadnou výměnu integrovaného obvodu a snižují riziko poškození v důsledku přehřátí v průběhu pájení.

Na trhu existují různé varianty In-Line pouzder, integrovaný obvod s nižším či vyšším stupněm integrace vyžaduje adekvátní počet pinů.

- SIP – neboli Single-In-Line je typ pouzdra používané pro vysoce výkonné integrované obvody, má podélně jednu řadu pinů a na protější straně společný vývod, který lze využít jako nositel vyzařené tepla do namontovaného chladiče. Maximální počet pinů je 24
- QIL – Quad-In-Line vyvinuly společnosti Intel a 3M v roce 1979 s cílem zvýšit stupeň integrace mikroprocesoru. [5] QIL pouzdro má podélně na každé straně střídavě uspořádané piny. Místo 2 řad u DIL pouzdra používá QIL 4 řady bez zvýšení velikosti
- SPDIP - Shrink Plastic Dual-In-Line jedná se pouze o zmenšený typ DIL pouzdra. Rozteč mezi piny se zmenšil na 0,07 palců (1,778 mm)
- SKDIP - Skinny Dual In-Line verze s menší šířkou pouzdra 0,300 palců (7,62 mm) při počtu 22,24,28 pinů [6]

1.1.2 Small Out-line

Dalšími typy pouzder jsou SO, jako nástupce DIL je zejména v oblasti spotřební elektroniky velmi rozšířený. Jeho přednosti jsou v menších rozměrech nežli starší typ DIL. Pouzdro se rozkládá na ploše menší o 30% až 50% a tloušťka se zmenšila o 70%. [7] V rodině Small Out-Line pouzder je mnoho různých variant lišících se velikostí pouzdra, roztečí mezi piny, počtem a také tvarem pinů. Rozměry SO pouzder se řídí dle norem JEDEC.

1.1.2.1 Small Out-Line Integrated Circuit

Pouzdra mohou mít od 8 do 48 pinů. Rozteč mezi piny jsou 0,05 palců. Pro rozlišení se stejně jako DIL pouzdro SOIC značí číslem a typem. Jelikož SOIC se vyrábí ve variantě o šířce 3,8 mm a 7,6 mm je pouzdro označováno SOICx_N nebo SOICx_W, kde x je počet pinů a koncové písmeno značí variantu narrow (3,8 mm) nebo wide (7,6 mm). [8]

- Mini-SOIC – Mini Small Out-Line Integrated Circuit – dostupná jen v 8 a 10 pinové verzi. Pouzdro zmenšeno na šířku 3 mm s roztečí mezi piny 0,5 mm

1.1.2.2 Small Out-Line Package

Do této kategorie spadají různé varianty lišící se v šířce, tloušťce či délce nebo roztečí pinů. Rozdílnost od SOIC je v menší velikosti.

- MSOP – Micro Small Out-Line Package – nejmenší z rodiny SOP, šířka 2,8mm a 3mm, tloušťka 1,1 mm a 0,85 mm.
- SSOP – Shrink Small Out-Line Package – Menší obdoba SOP
- TSOP – Thin Small Out-Line - velmi nízký profil 1 mm.
- TSSOP – Thin Shrink Small Out-Line - Kombinace SSOP a TSOP pouzdra
- QSOP – Quarter Small Out-Line

Small Out-line patří do kategorie pro povrchovou montáž, tzv. SMT. Touto technologií se pájí piny na povrch plošného spoje, již není nutné vrtat díry a pájet z druhé strany. Povrchová montáž se rozšířila v 80. letech především díky miniaturizaci elektroniky.

Výhody integrovaných obvodů pro technologii povrchové montáže:

- Menší rozměry pouzdra
- Montáž bez vrtání do plošného spoje
- Zrychlení automatizace
- Součástky mohou být napájeny na obou stranách plošného spoje
- Mechanická odolnost
- Cena součástky oproti ekvivalentu s technologií THT

Nevýhody:

- Ruční montáže nebo opravy jsou složitější díky velikosti rozteče mezi piny
- U některých součástek absence značení díky miniaturním rozměrům
- Chlazení výkonových součástek

1.1.3 Quad Flat Package

Jak již název napovídá, tento typ pouzdra se vyznačuje piny vycházejícími ze všech 4 stran. Jsou převážně čtvercového tvaru, ale může se vyskytovat i obdélníkový tvar. QFP pouzdro se vyrábí v mnoha velikostech, počet pinů se počítá od 32 do 208 s roztečí 0,4mm až 1mm. Typická tloušťka pouzdra se pohybuje od 2 do 2,8mm. Koplanarita vývodu pouzdra musí být v toleranci ± 4 mils. [5]



Obrázek 4: Quad Flat Package

1.2 Konstrukce a použité materiály

Výrobci používají mnoho rozličných druhů integrovaných obvodů, avšak jedno mají stejné a to jsou použité materiály. Jejich fyzikální, elektrické a chemické vlastnosti dávají integrovanému obvodu výkonové limity. Výrobci vybírají takové materiály, které jsou mezi sebou kompatibilní, neboli dají se dobře spojovat, pájet, nanášet bez vedlejších efektů při výrobě pouzdra. Pro potřeby odpouzdření je důležité prostudovat složení integrovaného obvodu jako celku. Je nezbytné, aby při odpouzdření nedošlo k porušení povrchu čipu a tím ke zničení nebo odleptání vývodů, které jsou připevněny na montážní rámeček. V následující části rozeberu nejběžněji používané materiály.

1.2.1 Montážní rámeček

Montážní rámeček neboli lead-frame je dominantou celého integrovaného obvodu. Materiály použité na montážních rámečcích se při konstrukci IO vybírají dle typu materiálu pouzdra. U keramických pouzder se vybírá slitina zvaná Nilo Allo 42, jelikož tato slitina má koeficient tepelné roztažnosti velice blízko keramice použité při pouzdření a to je velice důležitý parametr kvůli křehkosti keramiky, která může za určitých okolností popraskat. Výrobci používají více druhů materiálů pro výrobu montážního rámečku, ovšem všechny jsou založeny na slitině Fe-Ni jako například Inconel, Kovar, Invar. Nicméně v závislosti na velikosti montážního rámečku, může mít nízký koeficient tepelné roztažnosti škodlivý vliv na finální povrchovou montáž do plošného spoje, jelikož používané standardní substráty jsou v nesouladu s tímto koeficientem. Ideální materiál pro montážní

rámeček by měl mít vysoký modul pružnosti a nízký koeficient tepelné roztažnosti, tomuto ideálu se nejvíce svými parametry přibližuje měď. Měď se může díky svým vlastnostem použít i pro keramická pouzdra avšak své místo má u pouzder plastových díky snazší montáži.

Pro speciální integrované obvody s vyššími nároky na výkon a vysokým počtem vstupů a výstupů se používají montážní rámečky z laminátu. Jako příklad použití tohoto montážního rámečku je v dnešních procesorech pro výpočetní techniku od firmy Intel, AMD nebo Apple. Ke konci roku 1970 kdy se poprvé tento rámeček začal vyrábět, se používala směs epoxidové pryskyřice zvaná BT epoxid. [9] Ovšem tento materiál se dnes již používá velmi zřídka a byl vytlačen novými vyspělejšími materiály, jako polyimide nebo FR-4. Integrovanými obvody s těmito rámečky a tudíž i pouzdry se zabývat nebudeme, jsou natolik složité a citlivé, že jakékoliv odpouzdření by vedlo k destrukci čipu.

Klasický montážní rámeček je obohacen o vrstvu jiného kovu buď jako celek nebo jen část.

Vrstva je nanášena z důvodu [10] :

- usnadní spojení drátku s rámečkem
- snazší pájitelnost vývodu do desky plošného spoje
- kvalitnější přenos signálu
- ochrana proti korozi nebo oděru

Existují 2 metody povrchové úpravy [10]:

- Elektrolytické pokovení
- Coating, neboli metoda nánosu

Použity jsou převážně tyto materiály [9]:

- Nikl
- Zlato
- Stříbro
- Hliník
- Palladium

1.2.1.1 Nilo alloy 42 (ASTM F30)

Jedná se o nejčastěji používanou slitinu na bázi Fe-Ni obsahující 42% niklu, díky své ceně je mezi výrobci populární a hojně tento materiál využívají pro pouzdření do keramických hermeticky uzavřených pouzder. Má velmi nízký koeficient tepelné roztažnosti 6,7-7,4 ppm/ °C a to od pokojové teploty 20 °C až do 300°C. [11] Tepelnou roztažností je vhodný k uzavírání a spojování s materiály jako je beryllium, křemík, oxid hlinitý nebo sklo. Hlavní použití má v letectví, kosmonautice, do kompozitu sklo-kov nebo se aplikuje jako těsnění do keramických materiálů.

1.2.1.2 Měď

Po mnoho let se používala slitina ASTM F30 i v nehermeticky uzavřených plastových pouzdrech. Měď postupně slitinu Fe-Ni nahrazovala a dnes se montážní rámečky lisují pro celou škálu plastových pouzder jako například dual-in-line. Výborná teplotní vodivost a cena měď předurčila k dominanci v pouzdření do nehermeticky uzavřených plastových pouzder. Používá se mnoho slitin mědi a železa, všechny tyto kompozity mají velmi podobné vlastnosti a jejich složení se liší jen minimálně.

1.2.2 Propojovací vodiče

Neboli bond wire, se používá pro propojení mezi čipem a montážním rámečkem, jsou kritickým místem při odpouzďování, jejich průměr začíná na 15μm a při styku s chemikálií může dojít k přerušení a k nefunkčnosti zařízení pro pozdější analýzu.

Pro spojení drátku s podložkou existují 3 základní technologie spojování:

- Termo-kompresní
- Termo-sonické
- Ultrazvukové

Pro propojování se používají drátky z materiálu:

- Měď
- Zlato
- Hliník

1.2.2.1 Hliník

Čistý hliník je velice měkký a nemůže být zpracován do jemného drátku, přidáním 1% Mg nebo 1% Si se hliník zpevní a může být použit pro výrobu. [12] Hliník vykazuje dobrou odolnost vůči mnoha chemikáliím. Nicméně, nízké nebo vysoké hodnoty pH (méně než 4 více než 9), vede k rozpouštění vrstvy oxidu, který hliník přirozeně vlastní a v důsledku toho, dochází k rychlé korozi. Anorganické kyseliny a silné alkalické roztoky jsou tedy velmi žíravé pro hliník.

1.2.2.2 Měděný drát

Je nejrozšířenější materiál pro spojování v mnoha polovodičových a mikroelektronických aplikacích. Měděný drát má schopnost u menších průměrů poskytovat stejný výkon jako zlato, aniž by byly vysoké materiálové náklady. Velký průměr měděného drátu může a má nahradit hliníkový drát, kde je potřeba vysoká proudová zatížitelnost, nebo tam, kde jsou problémy s komplexní geometrií.

Vysoká náchylnost k oxidaci a reakce s kyselinami je negativum tohoto materiálu, pokovení je proto nezbytně nutné, aby bylo možné chránit měděný drát a tím zvýšit živnost celého integrovaného obvodu. Palladium se ukázalo jako alternativa, má značnou odolnost vůči korozi, i když za vyšší cenu a tvrdost než čistá měď, ale stále méně než zlato. [12] Během spojování musí měděný drát i jeho pokovené typy být zpracovány v atmosféře skládající se 95% dusíku a 5% vodíku nebo v podobném bezkyslíkovém prostředí, aby se zabránilo korozi. [13]

1.2.2.3 Zlatý Drát

Zlaté vodiče jsou vyrobeny z vysoce čistých výchozích materiálů (99.999%) [14], některé mohou být dopovány látkami jako například beryllium. [15] Vyrábějí se již od 12,5 μ m a jsou velmi odolné proti korozi a kyselinám. Zlato se rozpouští v kyselině Aqua Regia, česky Lučavka Královská jedná se o směs kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné vysoce koncentrované v poměru 3:1. Název aqua regia byl vytvořen alchymisty, protože má schopnost rozpustit zlato - "král kovů". Zlato je v polovodičovém průmyslu nepřekonatelný materiál s výbornými vlastnostmi, avšak díky stoupající ceně na světových trzích začal být vytlačován mědi. Zlato jako jediné se spojuje jen pomocí Termo-sonické metody za pomoci kapiláry, kde se vytváří na konci drátku kulička, která se připevní a stlačí na rámeček nebo čip.

1.2.3 Pouzdro

Konečná fáze výroby integrovaného obvodu je zapouzdrění do ochranného obalu neboli pouzdra. Pouzdřicí materiál poskytuje další výhody, jeho hlavní úlohou je ochrana velice citlivého čipu a propojovacích vodičů před nežádoucími vlivy životního prostředí. Při pouzdřicím procesu se musí dbát na pozornost a přesnost, jelikož by mohlo dojít k poškození propojovacích vodičů nebo ke zkratu mezi nimi. Dle použitého čipu se vybírají následující typy materiálů.

1.2.3.1 *Plastová pouzdra (Epoxidy)*

První z nich je nejběžněji užívaná plastová neboli z epoxidu a epoxidových směsí. Epoxidy nabízejí adekvátní ochranu polovodičového čipu a mechanickou pevnost při relativně nízkých nákladech.

Máme dva běžné typy epoxidových pouzder:

- Reaktoplasty - používá se například pro PDIP pouzdra a podobně. Bývají tmavě hnědé nebo černé barvy
- Epoxidové pryskyřice - používané pro PGA pouzdra. Jsou obvykle zelené, žluté, nebo hnědé s vrstvenými skleněnými vlákny
- Termoplasty – opak reaktoplastů, budoucí materiál, který je postupně nahrazuje

Epoxidová pouzdra, především na bázi reaktoplastů, představují 95% světového trhu s pouzdry a to z důvodu nízké ceny, všestrannosti a snadnější automatizace. Problém je, že reaktoplasty již nelze po teplotním zformování a zchladnutí opět roztavit a dále použít, například v recyklačním procesu, stane se z něj šrot. Nicméně, existuje teplota, při které jsou epoxidy značně oslabeny. Literatura tuto teplotu značí jako "Tg" a je to zlom, kdy se epoxid transformuje z tvrdého a hladkého materiálu do měkkého a gumovitého. Tenhle jev může být využit k termomechanickému odpouzdrění bez chemikálií. [16]

Společně s epoxidovou pryskyřicí mají reaktoplasty omezenou životnost, musí být udržované v chladném prostředí a mohou produkovat proměnlivé vlastnosti v závislosti na stáří a historii teploty při zpracování. Epoxidy mohou překvapit, jak se již stalo v letech 2000-2001, kdy materiál, který se zdál být dobrý, měl za následek selhání komponent a poté řadu nákladných soudních sporů. Složitá směs systému epoxidů a jejich polymerizace jsou kvalitativně obtížně kontrolovány. Ještě horší je, že epoxidy jsou obecně klasifikované jako nebezpečný materiál, mnoho epoxidů obsahuje brom zpomalující hoření sloučeniny.

Existuje domněnka, že třída reaktoplastů, zejména epoxidů, dosáhla svého vrcholu a již není možné zvýšit požadavky, které jsou kladeny výrobcí čipů. Koeficient tepelné roztažnosti, který se pohybuje kolem 80 - 90 ppm/°C, je pro výrobce již neakceptovatelný a pokud jde o absorpci vody, je epoxid jako "houba" ve srovnání s mnoha jinými materiály.

Přehled použitých epoxidů:

- DGEBA - Bisphenol A diglycidyl ether (CAS 1675-54-3)
- TGAP - Triglycidyl p-amino phenol (CAS 5026-74-4)
- Fenol formaldehydová pryskyřice (CAS 9003-35-4)
- Cresol novolak (CAS 29690-82-2)
- Cycloaliphatic epoxidové pryskyřice (CAS 2386-87-0)

Přehled epoxidových plnidel:

- DDM: 4,4' Diaminodiphenyl methane (CAS 101-77-9)
- DDS: 4,4' Diaminodiphenyl sulfone (CAS 80-08-0)
- DETDA: Diethyl toluene diamine (CAS 68479-98-1)
- TETA: Triethylene tetramine Dioctyl phthalate Diglycidylether of 1,4 butane, (CAS 112-24-3)

Tyto reaktoplasty jsou velice stabilní, k odstranění je potřeba velice silných kyselin.

Termoplasty jsou budoucností v materiálech pro pouzdrění. Mohou být levnější, šetrné k životnímu prostředí, opakovaně použitelné, recyklovatelné a mohou se pochlubit téměř hermetickými vlastnostmi, mnohem lepšími než ne-hermetické epoxidy. Jeden z nejlepších termoplastických materiálů obsahuje pouze uhlík (C), vodík (H) a kyslík (O), projde specifikací hořlavosti a přežije teploty pájení nad 260 °C. [17] Termoplasty jsou mnohem jednodušší a mají více předvídatelné chemické vlastnosti než epoxidy.

Přehled použitých termoplastů [17]:

- LCP – Liquid crystal polymers, poměrně unikátní třída částečně krystalických aromatických polyesterů na bázi kyseliny p-hydroxybenzoové. Hlavní použití pro SMD technologie [18]
- PEEK – Polyetheretherketone, materiál je polo-krystalický, vysoce čisté polymery obsahující monomery dvou skupin etheru a skupin ketonu. Vyznačuje se vynikajícími mechanickými vlastnostmi při vysoké teplotě

- PPA – Polyphthalamide, je vysoce tepelně odolný semi-aromatický polyamid. Jako člen rodiny nylonu je polo-krystalický materiál, který se skládá z kyselin dicarboxylic a diamine. Jsou tepelně odolné a mají nízké absorpční vlastnosti, PPA je ideální pro použití v chemickém prostředí nebo při extrémních teplotách
- PPS - Polyphenylene Sulfide, je organický polymer a skládá se z aromatických kruhů spojených sulfidů. Je známo, že syntetické vlákno a textilie odvozené z tohoto polymeru, jsou schopny odolávat chemikáliím a tepelnému účinku až do 240 °C

1.2.3.2 Keramika

Tato pouzdra byla populární v 70. a 80. letech, nyní upadly v nemilost. Plastové obaly zlepšily svoje vlastnosti a výrobci také slevili ze svých nároků na životnost a jsou více tolerantní, dnes je poměrně vzácné vidět keramická pouzdra. Nicméně protože stále poskytují lepší utěsnění než plast, jsou stále široce využívána v letectví a armádě, kde životnost a spolehlivost musí být maximální. Keramické materiály mohou být spojeny například se skleněným průzorem nebo metalickým vrškem zakrývající polovodičový čip.

- Oxid Hlinitý Al_2O_3 (CAS 1344-28-1), vyrábí se v čistotě 96-99,5%. Zabarvení je dáno dle čistoty, od čistě bílé 96% přes nádech růžové 98% až po světle žlutou >99% [19]
- Oxid berylnatý BeO (CAS 1304-56-9), má výbornou tepelnou vodivost asi 8-10x více nežli Oxid Hlinitý (2.0-2.4 W/cm°C), tato výborná tepelná vodivost je silně závislá na čistotě, která pokud klesne pod 99,5% se rapidně snižuje. Díky vysoké ceně se používá jen pro menší pouzdra. Materiál ve formě prášku je vysoce toxický, zakázaný v Japonsku [19]
- Karbid křemíku SiC (CAS 409-21-2), materiál je neobvyklý a stojí 20 krát až 100 krát tolik než oxid hlinitý. Má výbornou pevnost v ohybu (40-45 kg/mm²) a tuhost, dobré tepelné vlastnosti (2,7 W/cm°C), pokud se přidá 2% BeO [19]
- Nitrid Hliníku AlN (CAS 24304-00-5), využívá se v optoelektronice jako dielektrická vrstva, optických paměťových medií, paměťových karet, vysokofrekvenčních modulů, IGBT. Tento materiál je zajímavý jako netoxická alternativa oxidu berylnatého [19]

1.2.4 Polovodičový čip

V drtivé většině je dnes základní materiál pro výrobu čipů křemík Si (CAS 7440-21-3) a to v ryzosti 99.9999%. Na tento substrát se poté vytváří velmi složitým způsobem elektrický obvod. Pro speciální účely se začíná používat také Arsenid galia GaAs (CAS 1303-00-0). Pro nás důležitým údajem je materiál použitý pro pasivaci povrchu čipu, který bude při leptání kyselinami vystaven jejich účinkům. Pokud by se porušila vrstva chránící čip, došlo by k destrukci vnitřních struktur a nefunkčnosti celého polovodičového obvodu. Povrch čipu je proto pokrytý nitridem křemičitým Si_3N_4 (12033-89-5), který je relativně inertní vůči kyselinám, s kyselinou použitou při chemickém odpouzdření reaguje jen mírně. Dle údajů společnosti Kyocera způsobí kyselina dusičná dýmavá v koncentraci 60% a zahřátá na 90°C odleptání pouze 1.11mg nitridu křemičitého za 1 den expozice na ploše 1cm². [20]

2 METODY ZPŘÍSTUPNĚNÍ

Odpouzďení je metoda zpřístupnění vnitřních částí pouzdra integrovaného obvodu. Provádí se, aby byla usnadněna kontrola, chemická analýza, nebo provedena elektrická měření na čipu. Existuje celá řada možných mechanismů selhání, které mohou nastat v plastových pouzdrech.

Tyto nedostatky lze rozdělit do šesti hlavních skupin:

- Fyzikální a chemické faktory, jako je například vytvoření vrstvy oxidu nebo šíření povrchového náboje
- Zlom na čipu, nebo jiná mechanická únava
- Selhání adhezní podložky pod čipem
- Koroze drátků nebo pájecích bodů
- Vady pouzdra, praskání, bubliny
- Selhání propojení, vady v pájení, zkratky drátků

Bez ohledu na typ selhání, je ve většině případů odpouzďení prvním krokem šetření při selhání integrovaného obvodu.

Jak již bylo zmíněno, keramická pouzdra jsou opatřena kovovým nebo skleněným víkem, v tomto případě se metoda nenazývá odpouzďení, ale odvíčkování (delidding), je to čistě mechanický proces, který popíše níže. Tento proces se používá také na celokovová pouzdra například TO92.

2.1 Chemické leptání

Chemické leptání rozdělujeme do dvou kategorií a to:

- Manuální
- Automatické

Manuální chemické leptání se skládá z ručního dávkování menšího množství kyseliny na povrch pouzdra pro odstranění plastového materiálu pokrývající čip. Kyselina dusičná dýmavá (HNO_3), nebo kyselina sírová (H_2SO_4) se často používá pro tento účel. Nejprve vytvoříme na povrchu pouzdra prohlubeň, do které potom po kapkách aplikujeme kyseliny, jakmile kyseliny přestanou reagovat, pouzdro opláchneme v acetonu a poté v demineralizované vodě. Celé pouzdro musí být přitom zahřáté na teplotu kolem 60-130 °C podle použité kyseliny či poměru směsi kyselin. Schopnost provádět spolehlivou a

kvantitativní analýzu poruch závisí na rychlém, přesném a reprodukovatelném odstranění pouzdra. To je možné pouze s pomocí automatizované metody.

Automatické odpouzdřovací zařízení takzvaný Jet Etcher nabízí přesné, reprodukovatelné, hospodárné a bezpečné odpouzdření všech plastových obalů. Každý model může být předem naprogramován tak, aby vyhověl pro celou řadu různých pouzder. Jet etcher automaticky stříká již zahřátou kyselinu do požadované oblasti pouzdra, které je třeba odstranit. Během tohoto procesu se oblast, která má být leptána ponechá odhalená a zbytek je zakrytý maskou odolnou vůči kyselinám. Jet etchery obvykle používají kyselinu dusičnou dýmavou (HNO_3) zahřátou na $85\text{ }^\circ\text{C}$. Výhody automatizace jsou jasné:

- Přesné použití čerstvého leptadla
- Kontrolovaná teplota a doba leptání
- Leptání v inertní atmosféře

Tím je eliminována variabilita při ručním odpouzdření, je více kontrolovaná, účinnější a méně chaotická.

2.2 Laserové ozařování

Pracuje na principu laserové ablace. Infračervené záření specifickým způsobem dopadá na organické pouzdro a látky se z něj odpařují. Na rozdíl od jiných metod, které například vyžadují nebezpečné kyseliny je laserové odpouzdření suchá metoda a nehrozí nebezpečí poleptání osobě provádějící daný úkon.

Infračervené záření silně absorbuje většina organických látek, jakož i některé další materiály, jako je sklo. Většina kovů, zejména zlato, odrážejí infračervené záření dosti silně, a proto by neměly být na tyto materiály použity.

Pomocí CAD specifikace můžeme automatizovat proces zadáním souřadnic oblasti vyžadující odpouzdření. To znamená, že laser může být nakonfigurován tak, aby dopadal pouze na tu část pouzdra, která musí být odstraněna, zbytek zůstává neporušen, jakožto i čip uvnitř pouzdra. Laserové odpouzdření nemá žádné vedlejší účinky, pouze odstraní to, co je požadováno. Ovšem pokud je nutné odstranit i nejmenší zbytky sloučenin, je potřeba použít sekundární chemickou metodu. Taktéž v závislosti na konfiguraci zanechává laser nad čipem menší vrstvu plastového pouzdra, to proto, že je nežádoucí aby záření dopadlo přímo na povrch čipu.

2.3 Plazmatické leptání

Konvenční plazmové leptání na bázi kyslíku, které používá vakuovou komoru a elektromagnetické záření (obvykle 13,56 MHz) je schopno leptat organické látky, takže v zásadě mohou být použity pro odpouzdření. [21] Nicméně, plazmové etchery jsou určeny k leptání vrstev polovodičové desky (Wafer) pro odhalení výrobních vad, které jsou tlusté v řádu několika mikrometrů a proto není vhodné touto metodou leptat pouzdra integrovaného obvodu.

Problém konvenčního plazmového leptání je v extrémně nízké míře odstraňování, což má za následek velmi dlouhou dobu procesu leptání, v rozmezí od několika hodin až po několik dnů. [22] Přidáním fluoru do plazmového plynu se proces urychlí, nicméně, vytvořené radikály fluoru povrch čipu Si_3N_4 a Si s lehkostí odleptají a dojde k destrukci obvodu. [23]

Další nevýhodou je, že pouzdra neboli integrované obvody, jsou vystaveny plazmě v průběhu leptání jako celek. Elektromagnetické záření a ionizovaný plyn představuje potenciální poškození čipu uvnitř obalu. Uzemnění vývodů pouzdra pouze pomáhá snížit škody, ale zcela tomu nezabrání.

Ovšem existuje metoda Microwave Induced Plasma decapsulation (MIP). Tato metoda vyznačující se vysokou hustotou energie, provozem při atmosférickém tlaku a absencí vystavení čipu ionty, překonává automatickou chemickou metodu, jelikož dokáže zachovat jemný povrch měděných drátů mezi rámečkem a čipem. Ve srovnání s konvenčním plazmatickým etcherem je MIP systém alespoň 20 krát rychlejší bez dopadu na funkčnost čipu.

2.4 Mechanické metody

Existují případy, kde pouzdro musí být otevřeno bez použití kyseliny, protože kyselina narušuje pokovené plochy na čipu a může rozpustit materiály, které jsou předmětem zkoumání analytika. Dobrou alternativou chemického leptání je termomechanické odpouzdření. Tato technika zahrnuje zahřívání pouzdra, následuje broušení, lámání a řezání pro oddělení horní části pouzdra od jeho spodní části. Tato technika ničí propojovací drátky, ale zachovává čip pro účely analýzy jeho vnitřních struktur.

U keramických pouzder, která jsou vysoce pevná se pro odpouzdření používá metoda vybroušení vrchní části pouzdra, keramická pouzdra jsou hermeticky uzavřena pomocí

skelného těsnění, které lze ostrým předmětem narušit a tím snadno odlomíme část pouzdra bez zničení čipu a propojovacích drátků, tuhle metodu kromě jiných prostudujeme v praktické části. Některé druhy pouzder mají nad čipem metalické nebo jiné víčko, které se dá za pomoci zahřívání a ostrého předmětu vyloupnout. Další metoda zpřístupnění je odřezání vršku pouzdra, které je celé kovové, jako například TO-3.

3 CHYBNÉ PROJEVY PADĚLANÝCH ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

Výroba padělků komponent je nelegální proces. Každá společnost na světě, která vyžaduje komponenty pro výrobu desek plošných spojů (DPS) je v ohrožení a mnoho z nich již obdržela dávky "špatných" zařízení.

Padělání je dosaženo pomocí různých procesů. Zařízení známá jako "pulls" jsou odstraněny ze šrotu (desky, které byly vyhazovány). Poté se provede povrchová úprava, kdy zařízení jsou nově označována s (ne) důležitými informacemi, včetně loga výrobce. Následně přicházejí na neopatrného kupujícího jako pravá. Jiný postup je vlastní výroba komponent pomocí běžných výrobních kapacit v "duchu směny", které se uskuteční mimo standardní pracovní hodiny. Nicméně, čipy vytvořené tímto způsobem zahrnují mnoho výrobních vad a některé dokonce ani nemusí obsahovat polovodičový čip.

Každá výrobní vada jakož i vada způsobena opotřebením součástky způsobuje chyby v zařízeních, které se složitě odhalují, jelikož se na ně přijde, až když jsou umístěné na DPS. To vede k nákladnému procesu identifikace a pak jejich odstranění z DPS.

3.1 Vady na polovodičovém čipu

3.1.1 Koroze

Koroze je častým jevem při výrobě polovodičového čipu. Nesprávné oplachování nebo nadměrné používání korozivních znečišťujících látek, může zapříčinit korozi čipu. Příčina selhání je také špatné skladování, jelikož epoxidová pouzdra přirozeně propouštějí vlhkost.

3.1.2 Elektromigrace

Elektromigrace se vztahuje k postupnému posunu metalických atomů vodiče v důsledku proudu protékajícího tímto vodičem. To může vést ke vzniku dutin nebo nerovností v metalických liniích, což může způsobit zkrat a přerušení obvodu.

3.1.3 Porušení dielektrické vrstvy

Porušení dielektrické vrstvy je obvykle v důsledku velkého rozdílu dvou napětí mezi sebou. To se obvykle projevuje jako zkrat nebo zvýšením proudu v místě poruchy.

3.1.4 Elektrické přepětí

Elektrické přepětí, se odkazuje na zničení obvodu z důvodu nadměrného napětí, proudu nebo výkonu. Poškození je obvykle velmi zřejmé. Kovové linky jsou vybledlé, spálené, nebo roztaveny. Tímto jevem se nejčastěji poškozují MOS tranzistory, kde se prorazí tenká vrstva oxidu mezi takzvanou bránou (gate) a nosným kanálem (channel). Stáří integrovaného obvodu hraje také velkou roli, stupeň integrace je čím dál větší a může dojít k průrazu oxidové vrstvy, aniž by bylo překročeno napětí.

3.1.5 Horké nosiče (Hot Carrier Injection)

Termín "horké nosiče" se týká buď díry, nebo elektronu (také označovány jako "horké elektrony"), které získaly velmi vysokou kinetickou energii poté, co byly urychleny silným elektrickým polem v oblastech s vysokou intenzitou pole v polovodičovém (především MOS) zařízení. Vzhledem k jejich vysoké kinetické energii, mohou se horké nosiče injektovat a uvěznit se v prostorách zařízení, kde by neměly být, vytváří prostorový náboj, který způsobuje degradaci nebo nestabilitu.

3.2 Vady pouzdra

3.2.1 Zkrat propojovacích drátků

Selhání, která se týkají vzniku nechtěného elektrického zkratu mezi dvěma vodiči. Níže jsou uvedeny tři nejčastější typy zkratu propojovacích drátků.

3.2.1.1 Zkrat vodič-vodič

Je přítomnost nechtěného elektrického spojení mezi dvěma dráty. Elektrické spojení může být ve formě navzájem dotýkajících se drátků, nebo toulavých vodivých materiálů mezi drátky.

3.2.1.2 Zkrat vodič-čip

Přítomnost nechtěného elektrického spojení mezi jedním nebo více vodiči a polovodičovým čipem. Elektrické spojení může být ve formě drátku přímo dotknutého s okrajem čipu, nebo zatoulaného vodivého materiálu propojující drátek a okraj čipu. Nesprávné zacházení s balíčky před zapouzdřením / zatěsněním může vést k deformaci drátů a zkratu. Příliš nízké profily smyčky a velmi krátké dráty zvýší pravděpodobnost zkratu.

3.2.2 Externí a interní kontaminace

Je přítomnost cizího materiálu, ať už připojený nebo nepřipojený, kdekoli na vnější / vnitřní části obalu pouzdra a / nebo na jeho vývodech, montážním rámečku, čipu, drátčích. Nečistoty mohou mít vliv na výkon a spolehlivost zařízení, v závislosti na jejich identitě, může vést k různým poruchám, včetně nadměrného úniku proudu, zkraty mezi piny (vývody), koroze, zhoršená pájitelnost.

3.2.3 Vady montážního rámečku a vývodů

3.2.3.1 Vytažení vývodů (*Lead pulling*)

Je stav, v němž se jeden nebo více vývodů integrovaného obvodu vytáhl z obalu zařízení zcela. Je to vlastně porucha plastového pouzdra, které nedostatečně drží vývod.

3.2.3.2 Ulomení vývodů (*Lead tearing*)

Ulomení vývodu v příčném směru, obvykle na jednom ze svých ohýbaných částí. To se často projevuje u starších integrovaných obvodů, kde jsou vývody oslabeny z důsledku jejich vytažení nebo odpájení pro další použití.

3.2.4 Praskliny pouzder

3.2.4.1 Keramická pouzdra

Těsnění keramických pouzder jsou náchylné na praskliny a zlomeniny, obzvlášť pokud máme velké změny teplot, dochází k roztažnosti a prasknutí, to se ovšem děje jen pokud je těsnění vyrobeno špatně nebo je jinak narušeno. Těsnění sklíčka může být narušeno nesprávnou manipulací či rázovým namáháním. Termomechanické působení nebo čistě mechanické namáhání má za následek poškození pouzder.

3.2.4.2 Plastová pouzdra

Plastové pouzdro je náchylné na trhliny či výskyt zlomenin, kdekoli v nebo na plastovém pouzdře. Za léta už byla charakterizována obrovská řada mechanismů, které vedou k trhlinám na pouzdře. Mechanismy se liší od jednoho typu obalu na další, a některé z nich mohou být i jedinečné pro určité skupiny pouzder.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ÚVOD

V této praktické části bakalářské práce se budu zabývat samotným zpřístupněním integrovaných obvodů. Způsobů jak odstranit vrchní část integrovaného obvodu je spousta jak jsme se přesvědčili v teoretické části. Pro nedostupnost některých technologických zařízení se budu zabývat jen zpřístupněnými metodami a prakticky i nejvíce využívanými vzhledem k ceně. Také musíme zohlednit zadání bakalářské práce a vyfiltrovat postupy, které by vedly k destrukci integrovaného obvodu, neboli musím zachovat funkčnost. Celá praktická část bude koncipována jako „návod k použití“. Popíši podrobně jak danou metodou odstranit část pouzdra a vytvořím taktéž soupis nástrojů a médií použitých pro danou metodu včetně rad, kde vše zakoupit.

5 CHEMICKÁ METODA

V této práci se budeme převážně zabývat odpouzdřením pomocí chemikálie manuálně aplikované na pouzdro. Je to nejsnadnější způsob odpouzdření při zachování funkčnosti součástky. Metoda chemického odpouzdření je nejdostupnější metodou pro odstranění vrchní části epoxidového pouzdra a to jak materiálově tak i cenově. Veškerá média a nářadí lze zakoupit ve specializovaných prodejnách, není potřeba žádných drahých zařízení. Nesmíme také zapomínat na bezpečnost práce. Jelikož budeme manipulovat s nebezpečnými kyselinami je potřeba používat ochranné pomůcky, mít připravené roztoky na vypláchnutí po zasažení očí nebo potřísnění pokožky. Praktická zručnost laboranta musí být na vyšší úrovni.

5.1 Vybavení laboratoře, bezpečnost, příprava

Celý proces odpouzdření se musí provádět v laboratoři určené pro manipulaci s chemikáliemi, která je vybavena digestoří s odsáváním a záchytnou vanou pro chemikálie. Následující vybavení jsem vybral jako alternativy k vybavení, kterými disponujeme v laboratořích společnosti ON Semiconductor. Jedná se pouze o vodítko pro dosažení nejlepšího možného výsledku odpouzdření.

5.1.1 Technické vybavení

- **Topná deska** – deska s regulací teploty a chemicky odolným povrchem. Deska se musí vytopit do teploty alespoň 150 °C. Pro tenhle účel jsem vybral topnou desku značky Thermoscientific Super-Nouva s typovým označením HP133420-33Q, s ovládáním pomocí otočného knoflíku, s kontrolou údajů na displeji po 1 °C do maximální teploty 370 °C a keramickou deskou. Varná deska je dostupná v internetovém obchodě www.p-kovanda.cz



Obrázek 5: Varná deska Super Nouva HP133420-33Q

- **Ultrazvukový čistič** – pro dokonalé očištění pouzdra od zbytkové kyseliny je nejúčinnější metodou použití přístroje s ultrazvukovým vlněním, která vytváří kompresní vlny kapaliny v nádrži. Čistička kromě nerezové vany nepotřebuje žádné speciální provedení, nabízející se v různých rozměrech, nám postačí nejmenší modely jako například čistička typu SONIC 0,5 od výrobce Polsonic, která je dostupná na stránkách www.ultrazvuk-sro.cz
- **IR teploměr** – pistolového tvaru a laserovým ukazovátkem pro přesné zaměření snímané plochy je nejvhodnější způsobem jak měřit teplotu pouzdra. Budeme měřit do maximální teploty 200 °C, přesnost základních teploměrů se pohybuje od $\pm 1\%$ až do $\pm 2\%$ a rozlišení obvyklých 0,1 °C což plně dostačuje. Vybral jsem základní IR teploměr značky Voltcraft s typovým označením IR 260-8S, který lze koupit v síti prodejen Conrad nebo také na e-shopu www.conrad.cz
- **Skleněná kádinka** – využijeme pro namíchání správného poměru kyselin pro odstranění pouzdra. Kádinka o objemu 50ml plně postačí. Spotřeba směsi kyselin není velká a s menším objemem kádinky se bude lépe pracovat s pipetou. Opět nám poslouží e-shop na stránkách www.laboratorni-potreby.cz
- **Pipeta** – použijeme typ, který se neoborně nazývá „kapátko“. Prodává se v rozměrech od 1ml a více. Dle velikosti plochy, kterou potřebujeme odpouzdřit se bude měnit i množství kyseliny, kterou potřebujeme nakapat, vždy se ale bude jednat o velice malé množství a proto nám i s ohledem na komfort plnění kapátka

postačuje objem 3ml. Dostupné jsou jak celoplastové tak i skleněné. Celoplastové pipety lze použít, pouze pokud kyselina bude mít pokojovou teplotu kolem 20 °C. Kapátko lze zakoupit ve zdravotnických potřebách, taktéž jsem zjistil prodej celoplastových pipet v takzvaných grow-shopech, které jsou dnes v každém větším městě



Obrázek 6: Pipeta „kapátko“ 3ml

- **Stříčka** – Plastová nádoba se stříčkou pro aceton se kterým budeme oplachovat integrovaný obvod od kyseliny. Vyrábí se v různých objemech, 500ml používáme v naší laboratoři a je dostačující, lze koupit opět na www.laboratorni-potreby.cz
- **Pinzeta** – Jakákoliv delší pinzeta z nerezového materiálu nebo nejlépe plastová odolná vůči kyselinám, k zakoupení v lékárně, zdravotnických potřebách
- **Kovový blok** – integrovanému obvodu musíme předat maximální možné teplo, pro jeho zahřátí. V tomto nám pomůže jakýkoliv blok s výbornou tepelnou vodivostí o šířce menší nežli šířka daného integrovaného obvodu a výšce přesahující výšku obvodu včetně jeho. Jako varianta se jeví menší typ chladiče s žebrováním, na které je možné posadit integrované obvody různých velikostí. Chladič by měl být také nízkoprofilový menších rozměrů. Dnes je problém takový chladič zakoupit, dříve se používal na procesorech Intel 486, dnes na chipsetech základních desek pro počítače. Podobné chladiče jsem objevil v prodejně s elektronikou
- **Dávkovače** – slívání kyselin z láhve do kádinky může být nebezpečné, navíc v kádince s měrkou nelze vždy přesně namíchat správný poměr kyselin, k tomu bychom museli použít přesný odměrný válec a kyseliny přelévat což zvyšuje riziko rozlití. Dávkovačem elegantně napustíme kádinku požadovaným množstvím

kyseliny. Je třeba vybírat takový dávkovač, který lze použít s vysoce koncentrovanými kyselinami například Brand Dispensette Organic III. Pozor, některé druhy dávkovačů nelze použít s dýmavými kyselinami

- **El. Nářadí** – ruční elektrické nářadí pro vybroušení integrovaného obvodu. Na trhu je řada hobby nářadí pro tento účel, je možné koupit jakoukoliv s brusným tělískem nejlépe korundovým kuželového/válcového tvaru o průměru kolem 3mm. Značka Dremel nabízí velice široký sortiment nářadí a příslušenství a já osobně mám s ním výborné zkušenosti. Typ DREMEL 4000 je k dostání včetně prodlužovací hřídele, která zvýší komfort broušení. Při zakoupení stojanu lze použít i frézovací nástroj, který provede přesné odstranění materiálu. Vše je dostupné na e-shopu www.naradionline.cz

5.1.2 Použitá média

- **Kyselina dusičná dýmavá HNO₃ (CAS 7697-37-2)** – Kyselina dusičná dýmavá je nažloutlá kapalina. Na světle a vzduchu se již za pokojové teploty rozkládá na kyslík, oxid dusičitý a vodu, proto ji musíme uchovávat vždy zavřenou a manipulaci provádět v odvětrávaném prostoru či digestoři napojenou na odsávání. Pro experiment potřebujeme kyselinu s koncentrací >96%, prodává se od 1l, což nám plně postačí
- **Kyselina sírová H₂SO₄ (CAS 7664-93-9)** - Kyselina sírová je v koncentrovaném stavu hustá olejnatá kapalina, neomezeně mísitelná s vodou. Je velmi nebezpečnou žiravinou, způsobuje dehydrataci (uhelnatění) organických látek. My potřebujeme 100% koncentraci
- **Aceton C₃H₆O (CAS 67-64-1)** - Aceton je bezbarvá kapalina specifického zápachu, hořlavá, s vodou neomezeně mísitelná. Budeme ji využívat na oplachování kyseliny. 1litr acetonu postačí
- **Demineralizovaná voda** – v naší laboratoři budeme používat vodu zbavenou všech rozpustných látek a křemíku, ovšem je možné použít i destilovanou vodu jako medium do ultrazvukového čističe

5.1.3 Osobní ochranné pomůcky

Pro dosažení maximální bezpečnosti je potřeba použít osobní ochranné pomůcky a lékařské vybavení. Chemické ochranné pomůcky lze sehnat v obchodě s pracovními

potřebami, ostatní vybavení v lékárně. Nejjednodušší je výběr přes internetový obchod. Obchod na stránkách <http://www.laboratorni-potreby.cz> umožňuje nákup všech potřeb níže popsaných.

Pro osobní ochranu budeme potřebovat:

- **Obličejový štít** – při práci s kyselinami je obličejový štít vhodnější nežli běžné ochranné brýle, zakryje celý obličej a jsme dostatečně chráněni. Další výhodou je použití dioptrických brýlí
- **Zástěra** – Ochranná zástěra vyrobená z PVC materiálu odolná proti středně koncentrovaným kyselinám k upnutí kolem krku plně dostačuje proti postříkání či polítku kyselinou
- **Rukavice** – riziko, že budou ruce potřísněny kyselinou, jsou velice velké. Zde je třeba vybrat kompromis mezi chemickou odolností a komfortem při manipulaci s malými součástmi. Zde se jako alternativa jeví rukavice z měkčeného PVC, které krátkodobě ochrání před účinky kyselin a zpevněním na konci prstu pro lepší mechanickou odolnost
- **Obuv** – chemicky odolná obuv jakéhokoliv typu vysoká nad kotníky nohou
- **PH metry** - při experimentech může dojít k vylití nebo postříkání kyseliny, proužky papírku napuštěné lakmusem nám nejsnáze a nejrychleji odhalí, zda se jedná o kyselinu nebo obyčejnou vodu, na základě tohoto zjištění budeme při úklidu postupovat s maximální opatrností
- **Stříčka vyplachovací** – pokud již dojde k zasažení očí, je třeba před vyhledáním lékařské pomoci provést vypláchnutí, k tomu nám nejlépe poslouží již připravené stříčky, které jsou k okamžitému použití
- **Neutralizační látky** – použité kapaliny mají hodnoty PH v dolní hranici, v tomto případě musíme mít připravenou neutralizační látku pro kyseliny. Tyto látky lze koupit jako absorpční rohože nebo utěrky pro vytírání podlah a stolů. Použit lze také obyčejnou jedlou sodu

5.1.4 První pomoc

k poleptání dochází při kontaktu s kyselinou či zásadou, ať už přímým stykem či párami. Závažné poškození lze očekávat při hodnotě PH <2. My budeme používat kyseliny, které při styku s pokožkou vytvoří příškvár tmavé barvy díky dehydratačním účinkům.

Při styku s pokožkou musíme:

- Zabránit dalšímu působení kyseliny
- Poleptané místo oplachujeme vodou a to tak aby nestékala po zdravých částech těla
- Chemikálie neutralizujeme velmi zředěnými roztoky například z jedlé sody.
- Oči pouze vyplachujeme obyčejnou vodou, stříčky musíme mít připravené před začátkem manipulace s kyselinami. Okamžitě vyhledáme lékařskou pomoc
- při požití podáme postiženému větší množství vody a zajistíme převoz do nemocnice, nevyvoláváme zvracení (došlo by k opětovnému kontaktu chemikálie s jícnem)

5.1.5 Příprava

Před začátkem samotného leptání si musíme vše předem připravit a mít vše při ruce.

- Topnou desku zapneme a nastavíme teplotu 75 °C
- Na topnou desku položíme integrované obvody
- Aceton nalijeme do stříčky, necháme ji umístěnou v digestoři, nebo poblíž výlevky, tímto budeme oplachovat pouzdro od kyseliny a to i několikrát za sebou
- Destilovanou vodu vlijeme do ultrazvukové vany, množství takové aby kádinka byla alespoň z poloviny ponořená
- kádinky s acetonem a destilovanou vodou postavíme vedle ultrazvukového čističe, zde budeme integrovaný obvod nořit do kádinek a vkládat do ultrazvukového čističe
- Kyselinu dusičnou a sírovou smícháme v poměru 3:2 do kádinky, postačí 15ml a 10ml
- Na topnou desku položíme kádinku s namíchanou kyselinou a vyčkáme, až dosáhne požadované teploty nastavené na topné desce, s kontrolou nám pomůže IR teploměr. Mějme na paměti, že kyselina dusičná dýmavá má teplotu varu kolem 85 °C a dochází k odpařování a tím i ke snížení účinnosti kyseliny. Pokud k tomu dojde, je nutné kyselinu opět namíchat. Při nastavených 75 °C dochází ke znatelnému snížení účinnosti až po 20 minutách
- Pipetu zkrátíme řezem v mírném sklonu tak aby vznikla na konci špička



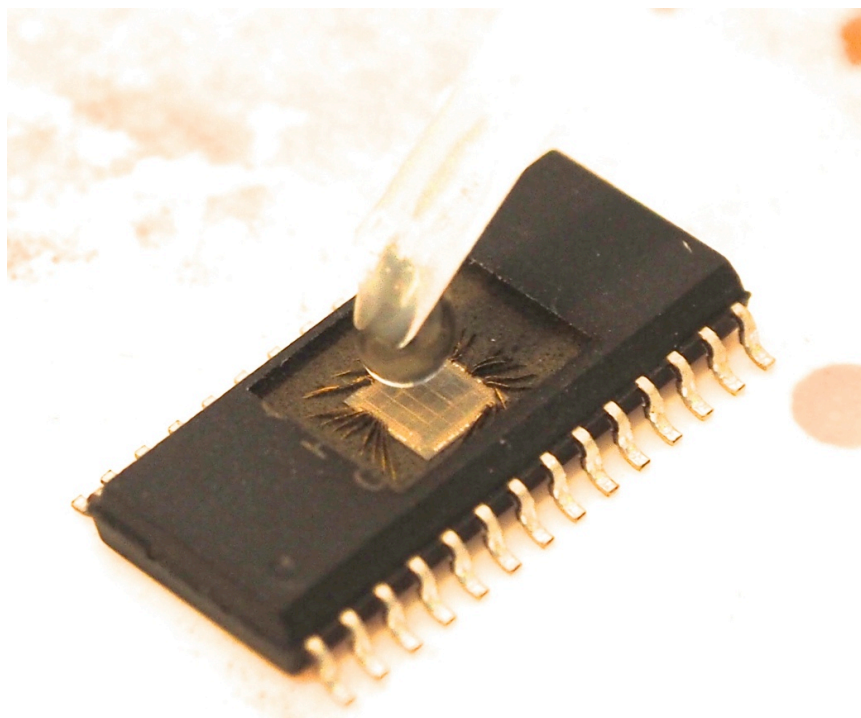
Obrázek 7: Zešikmení konce pipety, je důležité pro přesnou aplikaci kyseliny

5.2 Kombinovaná metoda Laser-Chemie

Pro experiment použijeme integrovaný obvod ukrytý v pouzdře SOP s 28 vývody. Celkem odpouzdříme 2 kusy těchto pouzder s tím, že na jednom pouzdře již byla provedena ablace materiálu pomocí laseru, kterým disponuje Univerzita Tomáše Baťi ve Zlíně. Nejdříve se budeme zabývat tedy kombinovanou metodou laserově-chemickou. Máme tedy k dispozici pouzdro, které prošlo ablací, a materiál se zcela odpařil, ovšem i když laser dokáže odstranit materiál zcela, včetně záhybu pod propojovacími drátky. Pokud chceme zachovat funkčnost čipu, musíme použít kyseliny k sekundární aplikaci. Laser díky vysoké teplotě působí destruktivně na pasivaci čipu, jak si ukážeme níže.

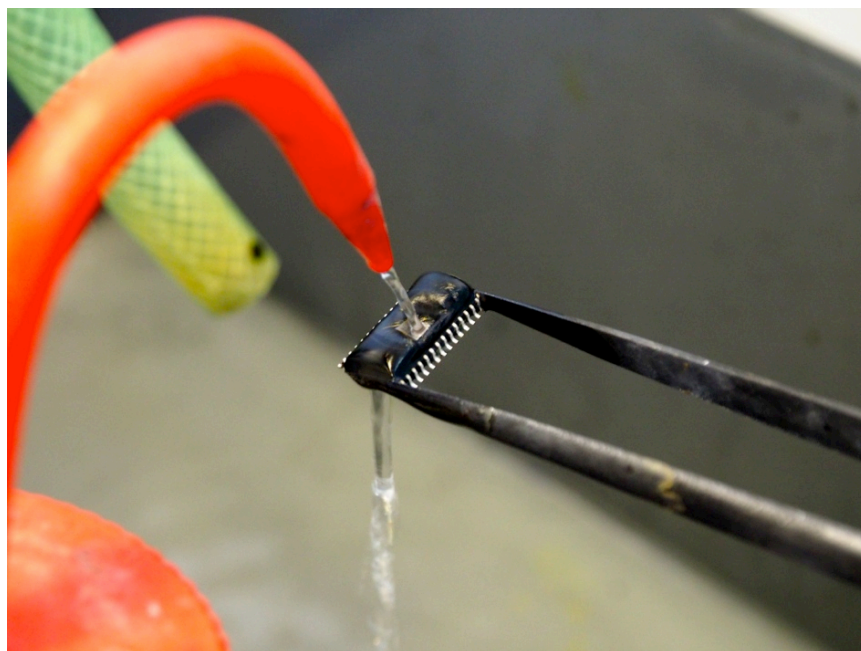
5.2.1 Postup

- 1) Vezmeme pipetou malé množství kyseliny a aplikujeme do laserem vytvořené drážky. Kyselina ihned začne reagovat a my okamžitě pomocí pinzety odebereme integrovaný obvod z topné desky.



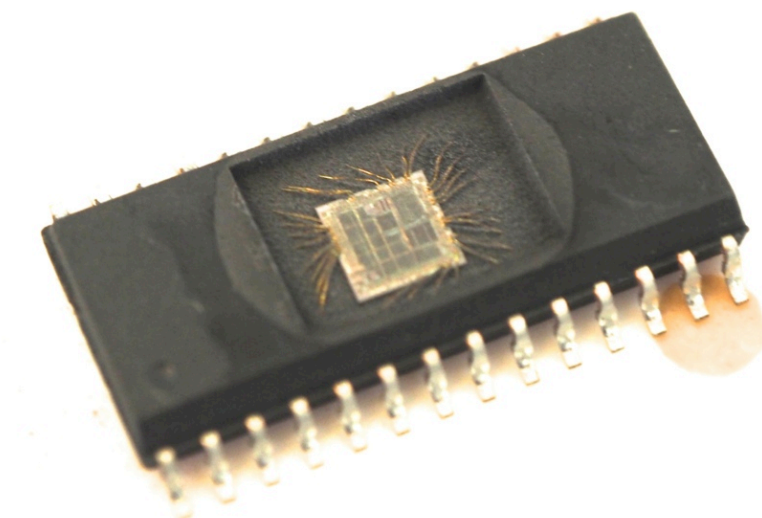
Obrázek 8: Množství aplikované kyseliny je opravdu malé

- 2) Pomocí acetonu v připravené stříčce opláchneme povrch pouzdra, necháme samovolně vysušit.



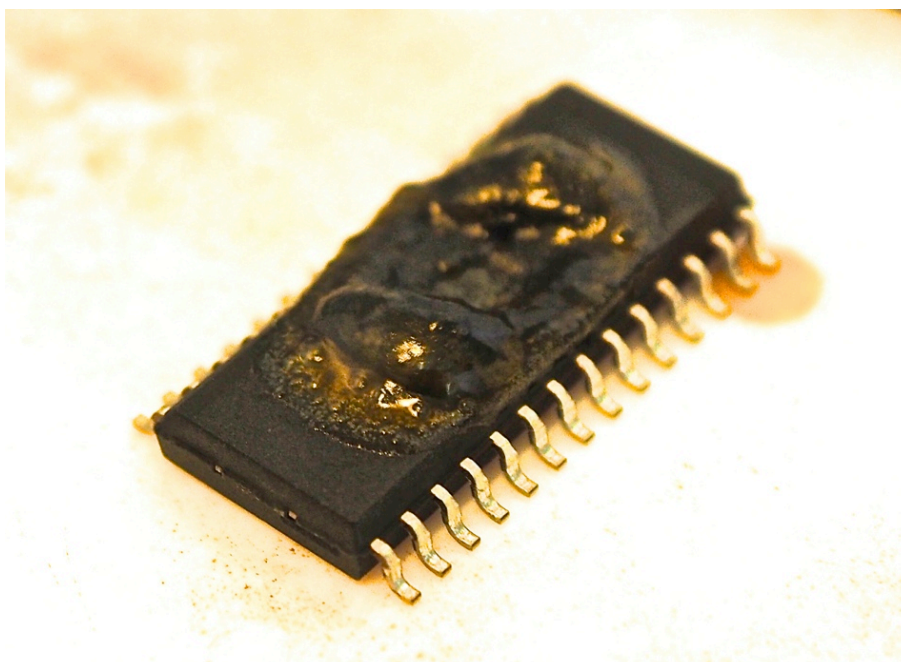
Obrázek 9: Oplachování pouzdra acetonem

Na obrázku 10 můžeme vidět mírné naleptání pouzdra okolo hran, náš cíl je odhalit rámeček a zcela očistit drátky od pouzdřícího materiálu, proces musíme opakovat několikrát za sebou, až dosáhneme kýženého výsledku.



Obrázek 10: Naleptané pouzdro po první aplikaci kyseliny

- 3) Pouzdro opět vložíme na topnou desku a můžeme ihned aplikovat kyselinu. Kyselině bude chvíli trvat, nežli začne reagovat s materiálem, jelikož jsme pouzdro předtím zchladili acetonem. Vyčkáme a kyselinu necháme reagovat opět jen 2-3 vteřiny, poté opět opláchneme acetonem.



Obrázek 11: Reakce kyseliny s pouzdřícím materiálem

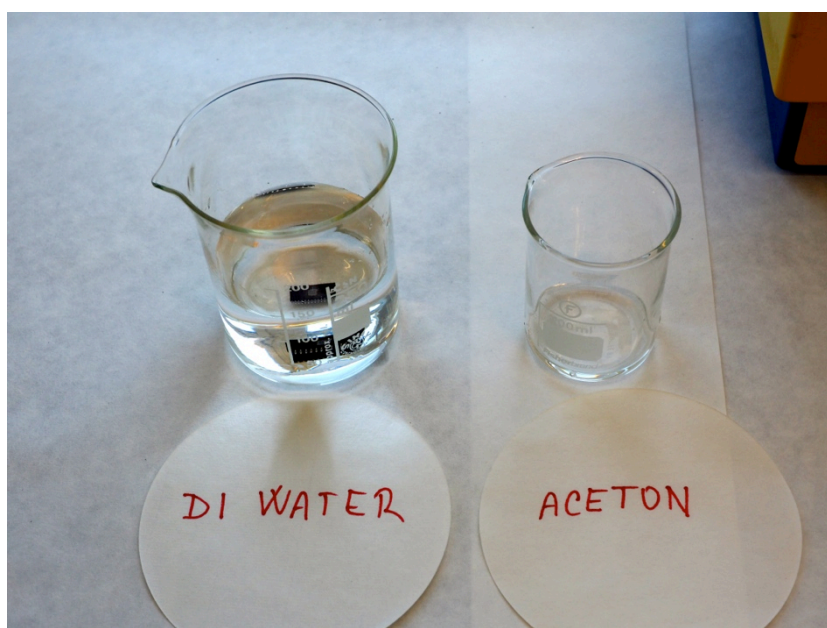
V konečné fázi, když je materiál odpouzdřen dle potřeb laboranta je nutné integrovaný obvod důkladně očistit.

- 4) Pouzdro vložíme do kádinky s acetonem a ponoříme do ultrazvukového čističe. Kádinka se musí dotýkat dna, aby došlo k přenosu ultrazvukových vln do kádinky. Zapneme ultrazvuk a necháme 10 vteřin působit.

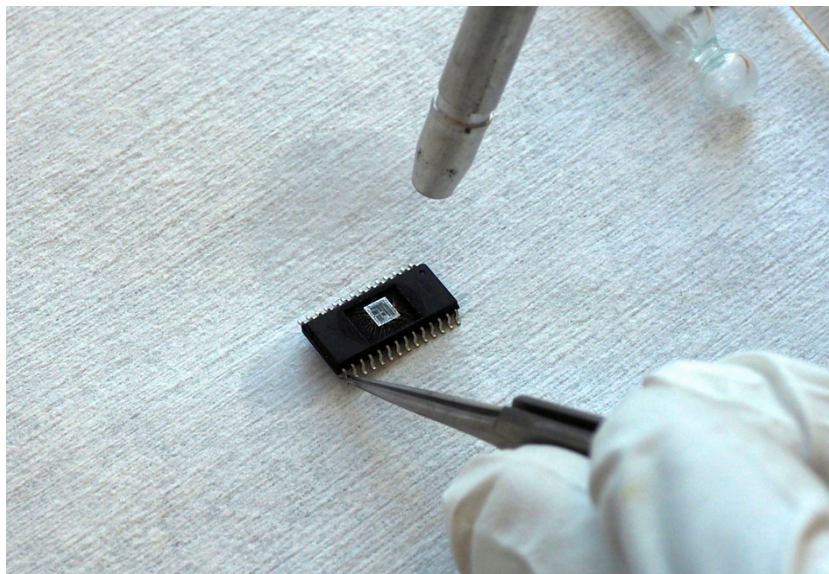


Obrázek 12: Čištění pouzdra pomocí ultrazvukového vlnění

- 5) Další krok je mytí pouzdra v demineralizované vodě a poté osušení tlakovým vzduchem nebo dusíkem. Nesmíme zapomínat na velmi jemné propojovací drátky, proto stlačený vzduch použijeme s opatrností.

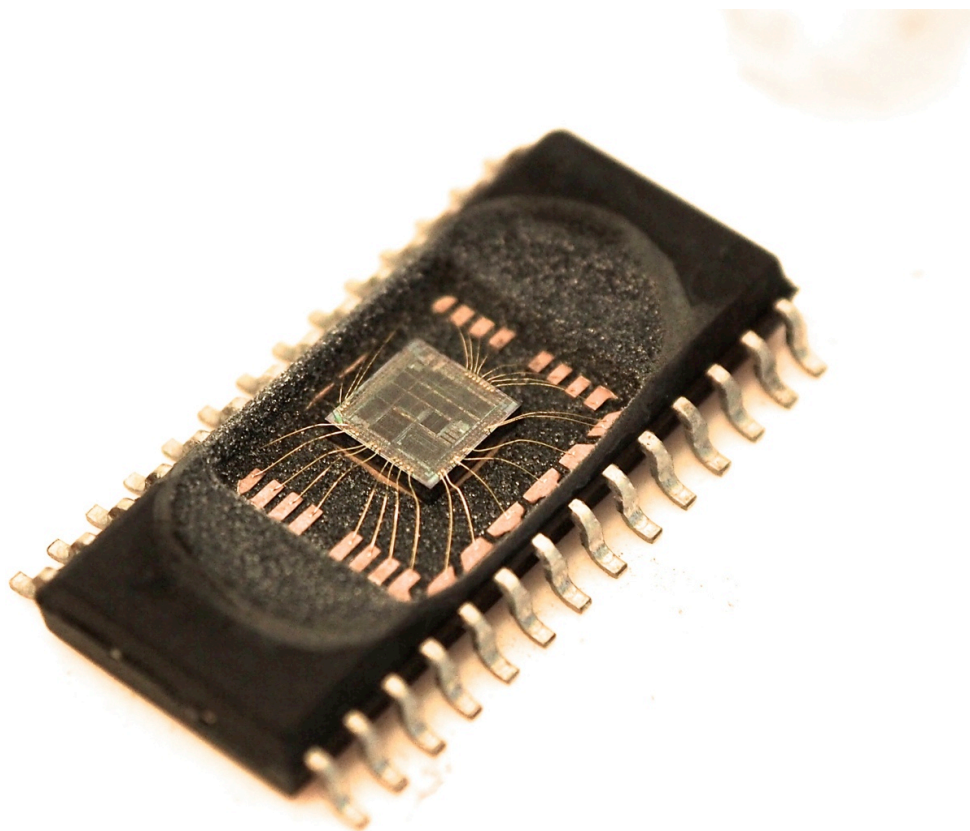


Obrázek 13: Ukázka mytí pouzdra od agresivní kyseliny



Obrázek 14: Osušení tlakovým dusíkem

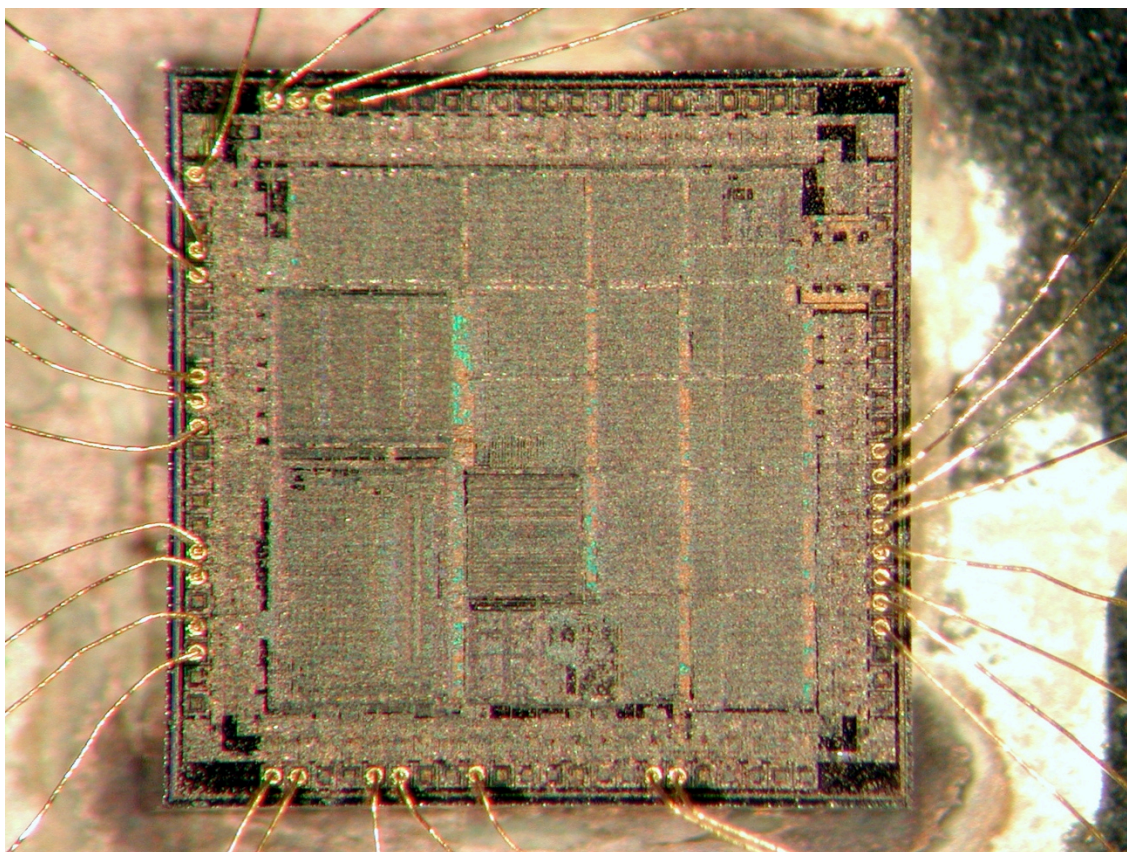
Na obrázku č. 15 můžeme vidět odpouzdřený integrovaný obvod s odhaleným montážním rámečkem a neporušenými zlatými drátky. K tomuto výsledku jsme dosáhli po čtyřech aplikacích kyseliny.



Obrázek 15: Odpouzdřené pouzdro integrovaného obvodu

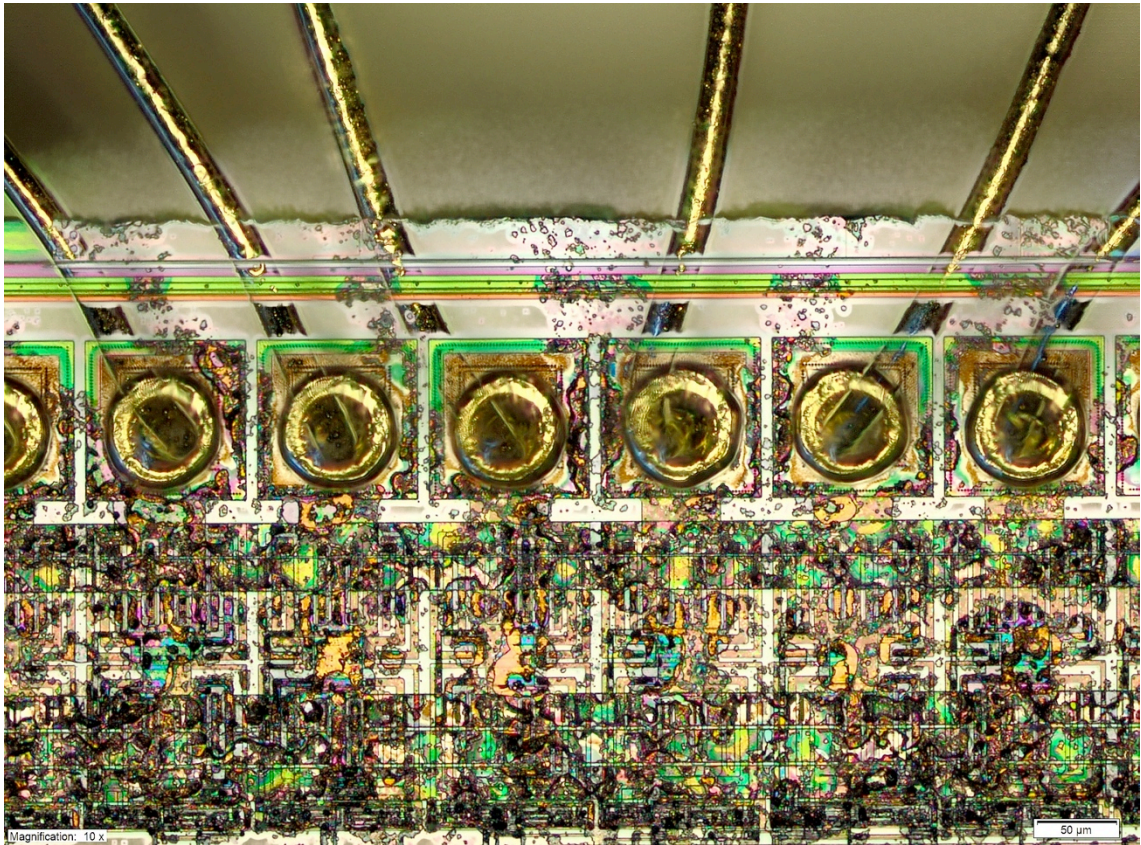
5.2.2 Vyhodnocení

Tato metoda má nespornou výhodou v tom, že část pouzdra odstraní laser a my pouze odleptáváme malé množství materiálu. Laser nám také vytvoří drážku, kde kyselina působí přesně na místo určené. Při zvětšení integrovaného obvodu pod mikroskopem jsme v laboratořích zjistili, že laser nám zničil pasivační vrstvu čipu a tím se stal zcela nefunkční. Více prozradí obrázky níže.



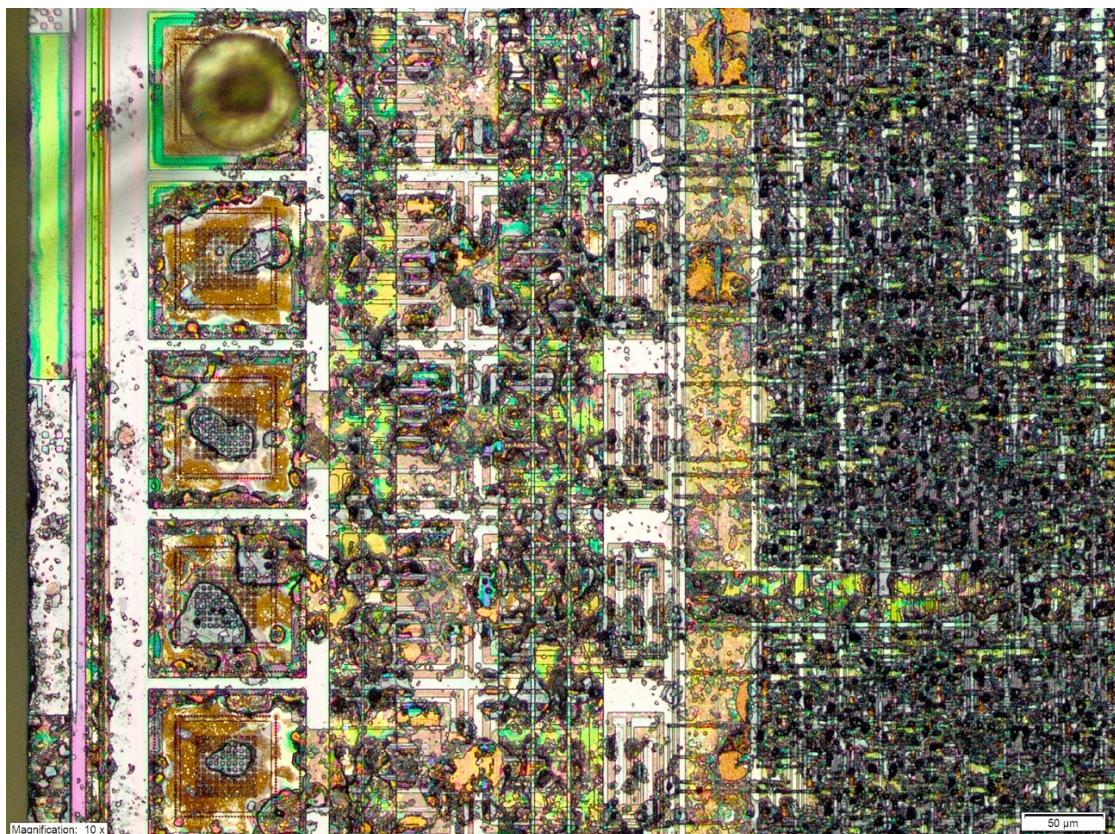
Obrázek 16: Detail zničené pasivační vrstvy čipu po laserové ablací

Obrázek č. 16 nám ukazuje zničenou pasivační vrstvu. Laser pracuje na principu zahřátí materiálu na teplotu, kdy dochází k jejímu odpařování, takzvané ablaci, při styku s povrchem čipu došlo k připečení pouzdrícího materiálu do nižších vrstev polovodičového čipu. Pokud se podíváme na propojovací drátky, můžeme na nich vidět deformaci, která opět vznikla při styku s laserem. Na menších čípech s hustším propojením je pravděpodobnost zkratu velmi vysoká.

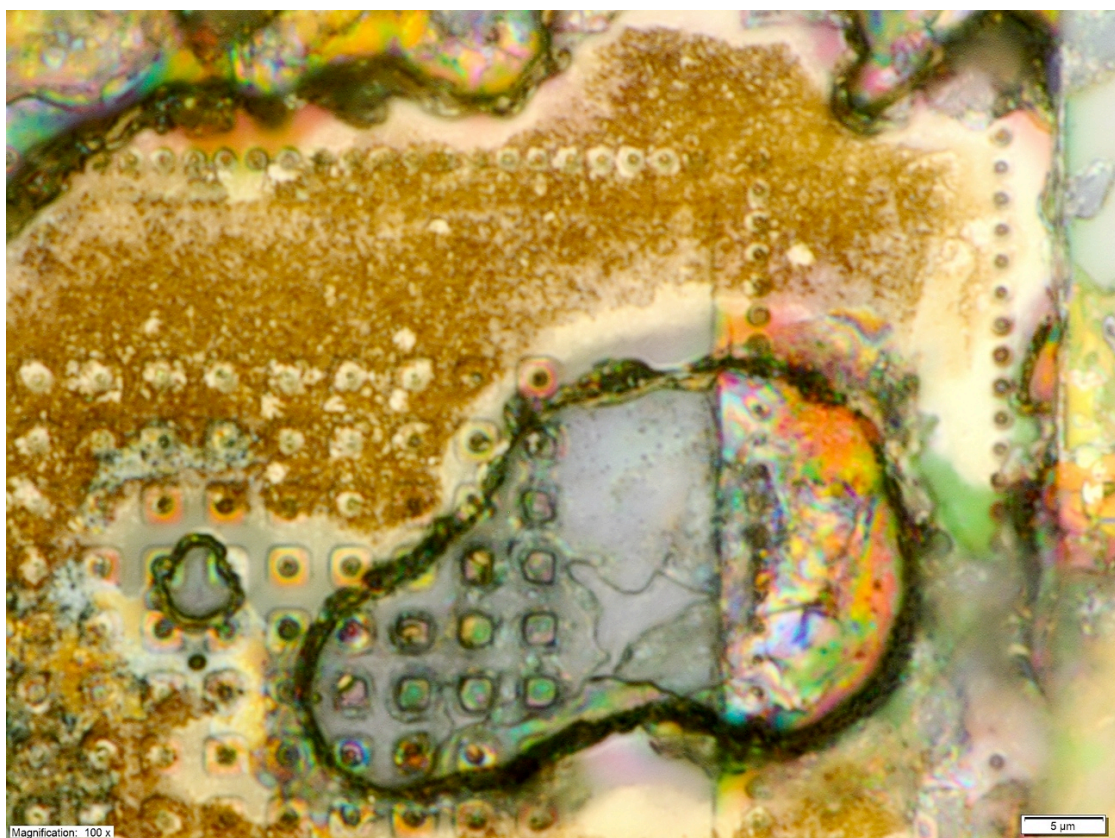


Obrázek 17: Detail propojovacích drátků na čipu ,zvětšený 10x

Další obrázek č. 17 nám po zvětšení 10x ukáže detail připojení drátku k hliníkové podložce, kde lze znatelně odhalit stopy po zapečeném materiálu v pasivační vrstvě. Všimněte si stop pod propojovacími drátky, po diskuzi s Ing. Vladislavem Hrachovcem, který má na starosti v laboratořích ON Semiconductor analýzu čipů jsme usoudili, že se tak stalo při ablaci laserem, kdy se materiál na drátcích vlivem vysoké teploty zapekl do nižších vrstev čipu.



Obrázek 18: Detail hliníkových podložek 20x zvětšený



Obrázek 19: Detail propálení do nižších vrstev hliníkové podložky, 100x zvětšený

Obrázek č. 18 ukazuje detail 20x zvětšených hlinkových podložek (na levém okraji), na které se upevňují propojovací drátky, zde můžeme jasně vidět, jak laser propálil pouzdrící materiál do nižších vrstev.

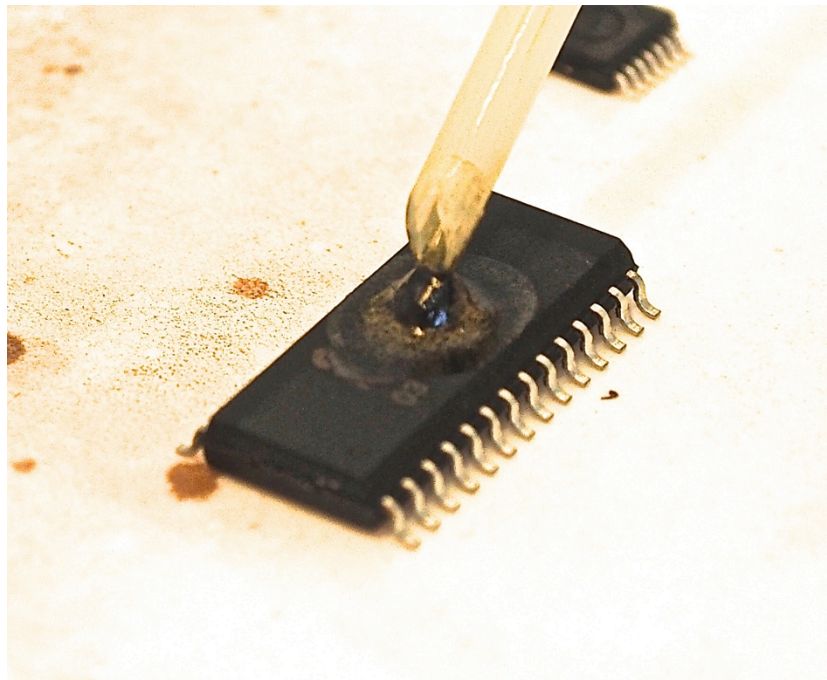
Řešení je přitom zcela jednoduché a to nastavit laserové zařízení tak, aby zanechal nad čipem tenkou vrstvu pouzdrícího materiálu, která se poté pomocí chemie odstraní. Laserové zařízení takovou funkci nabízí, je to vše o naprogramování každé sekvence a výběr vhodné matrice pro sekvenci konečnou.

5.3 Zjednodušená chemická metoda

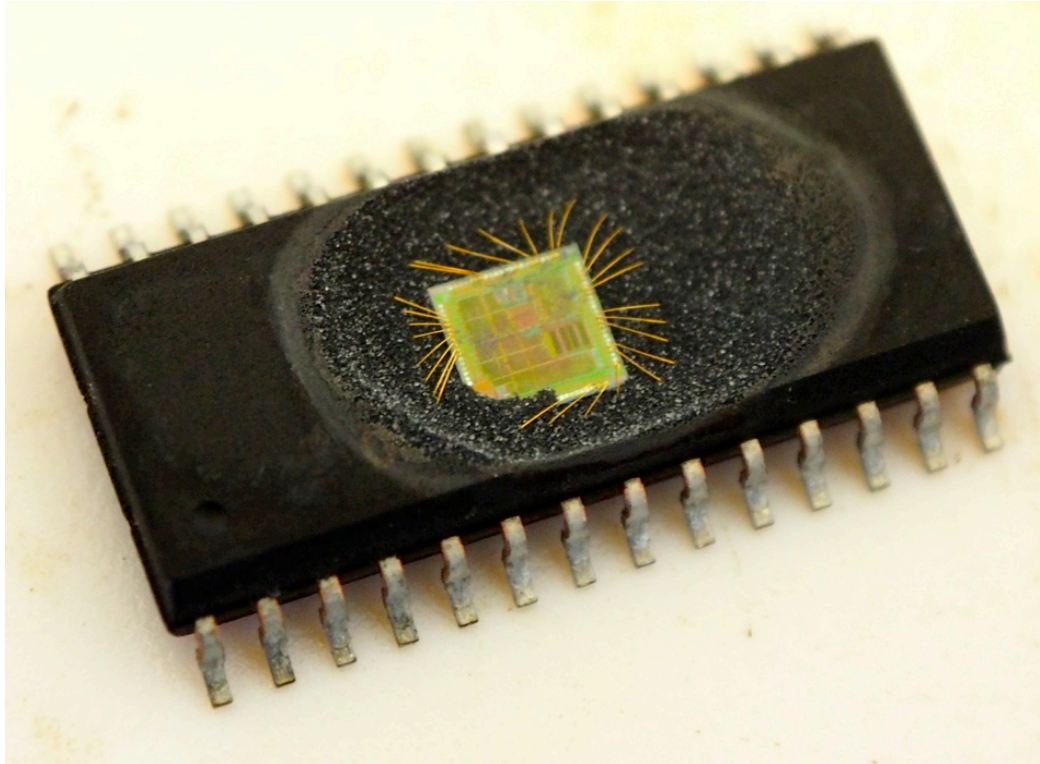
Pro tuto metodu použijeme integrovaný obvod stejného typu, jako jsme použili u kombinované metody, jen s tím rozdílem, že pouzdro neprošlo ablací. Postup bude tedy úplně stejný, ale zdlouhavější jelikož budeme odleptávat větší vrstvu pouzdrícího materiálu. Proto postupujme dle předchozí metody. Po odleptání si na obrázcích ukážeme rozdíly, mezi oběma metodami.

5.3.1 Postup

Počáteční aplikace kyseliny je klíčová, vytvoří nám jamku, do které potom budeme aplikovat kyselinu. Jamka nám bude určovat místo, kde kyselina bude působit.

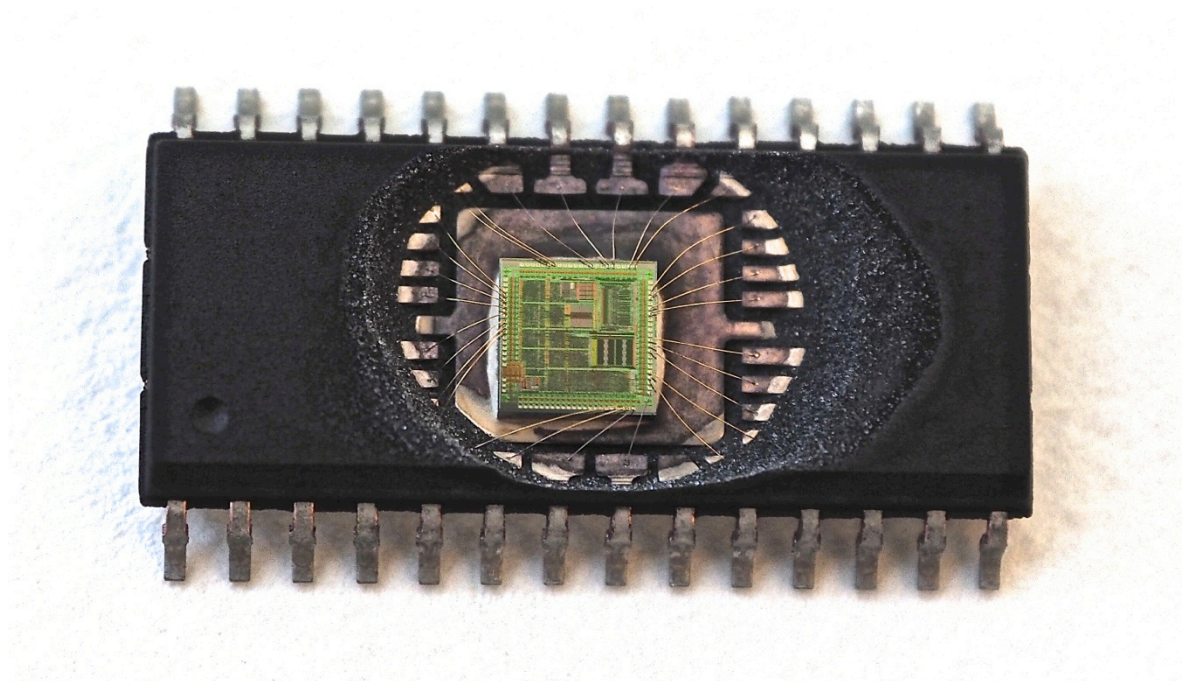


Obrázek 20: Kyselina by měla být aplikována do středu pouzdra



Obrázek 21: Odhalený čip po osmi aplikacích kyseliny

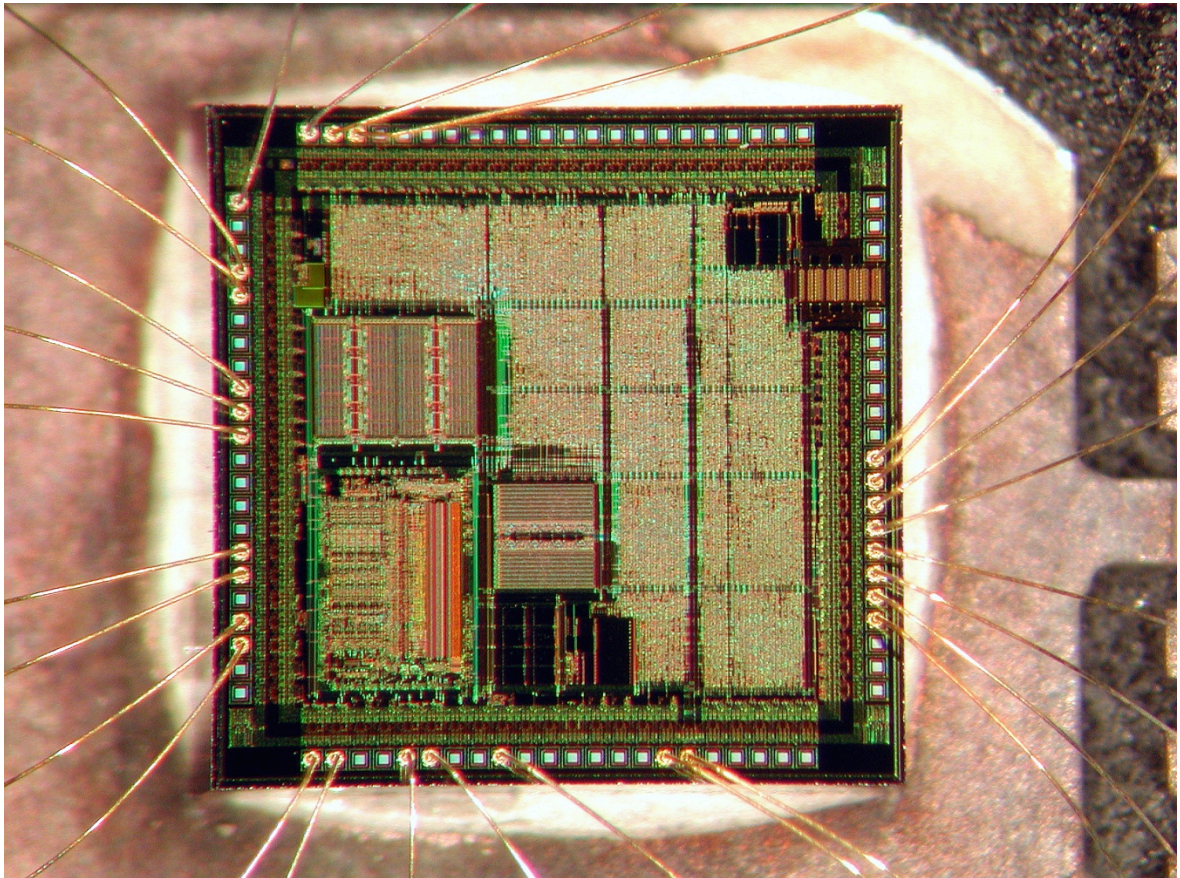
Polovodičový čip bývá obvykle v centru pouzdra, ale není to vždy pravidlem. Na obrázku č. 22 vidíme, že se nám kyselina rozlila na místa, která leptat nepotřebujeme, v tomto případě si pouzdro na topné desce podložíme například krycím sklíčkem pro mikroskopy tak aby se nám kyselina rozlila na místa, kam potřebujeme.



Obrázek 22: Odpouzdřený čip čistě chemickou metodou po 12 aplikacích

5.3.2 Vyhodnocení

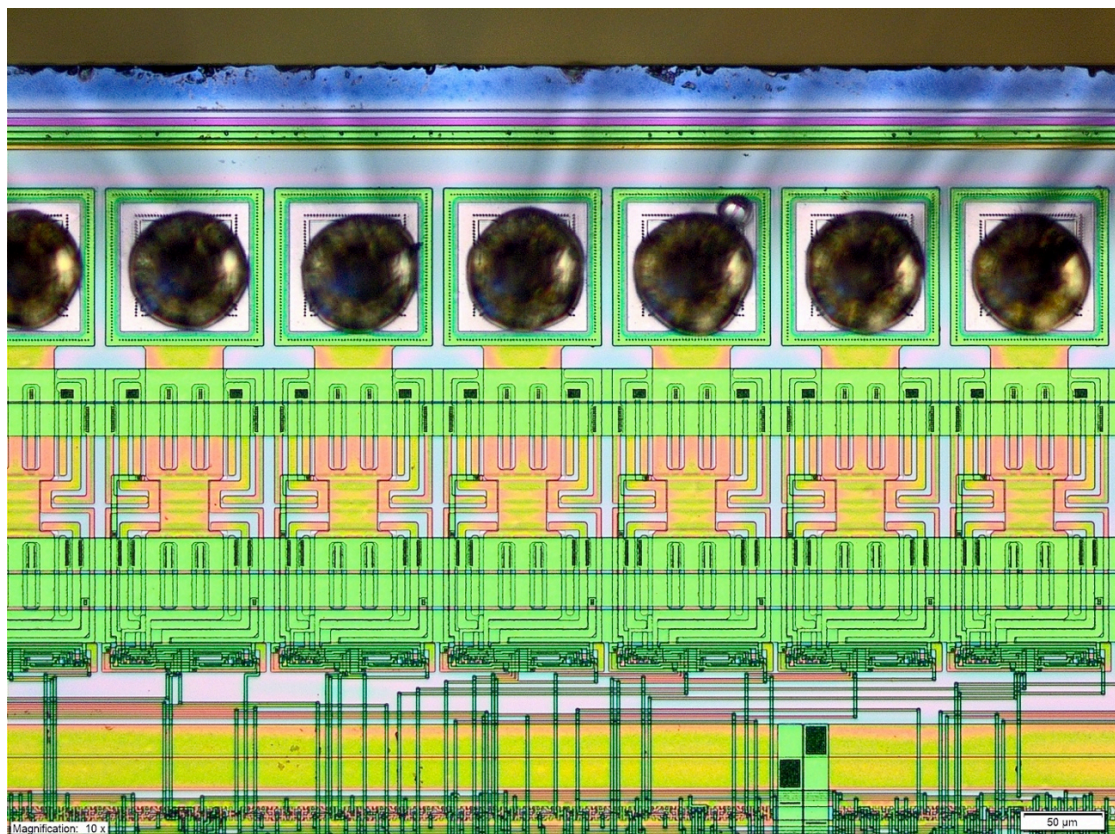
Již pouhým okem můžeme zpozorovat rozdíl v barvě čipu mezi laserem a čistou chemickou metodou. Povrch čipu není zašedlý, lze vidět barevné struktury vrstev na čipu.



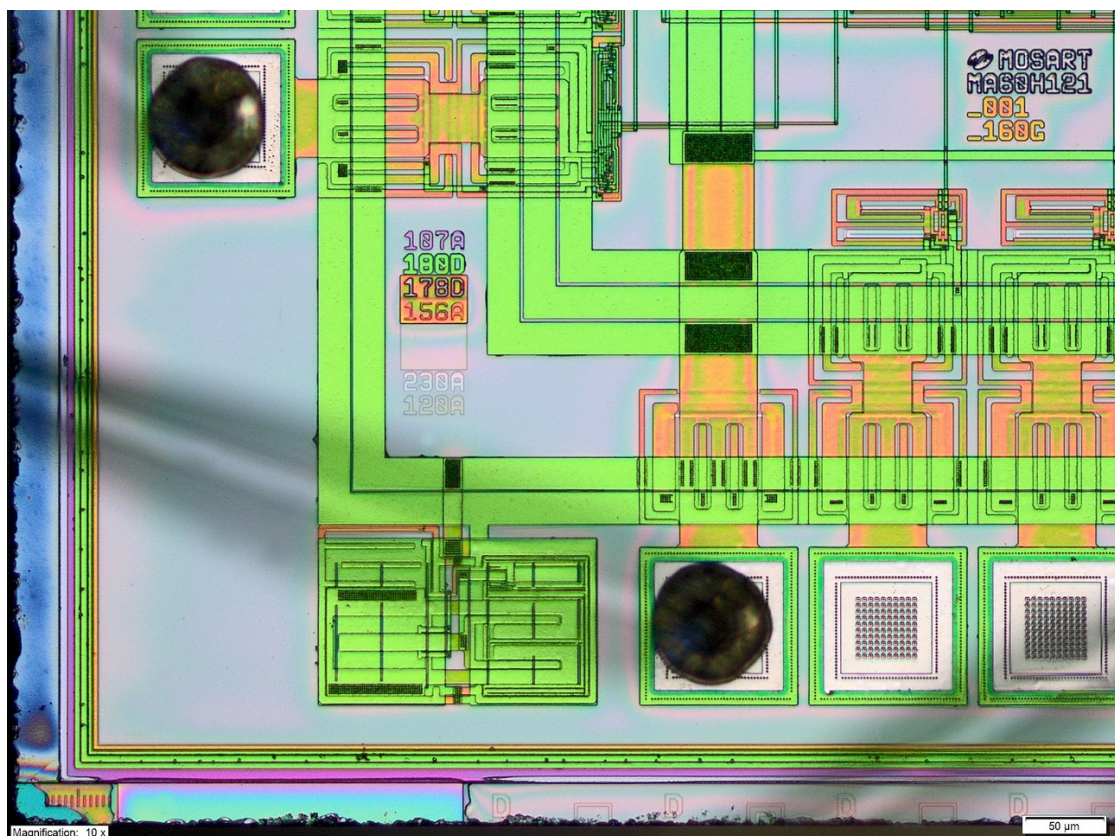
Obrázek 23: Detail odpouzďřeného čipu

Následující obrázek č. 24 ukazuje precizně vyleptané detaily okolo propojovacích drátků. Nedošlo k porušení struktury vrstev ani ke znehodnocení samotných propojovacích drátků, hliníkové podložky zůstaly zachovány a drátek je stále pevně spojen.

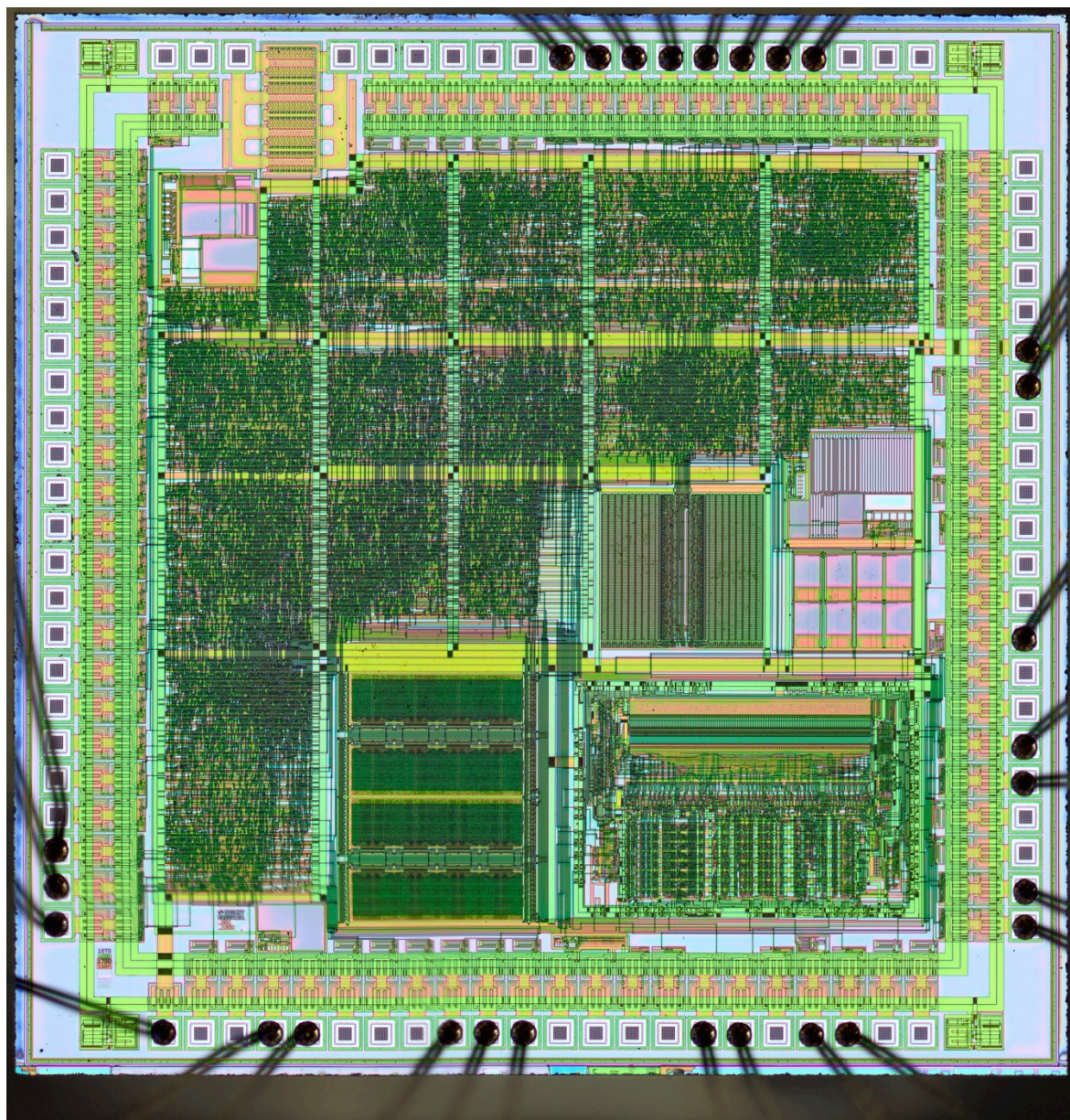
Na dalším obrázku č. 25 lze zřetelně přečíst typové označení



Obrázek 24: Detail propojovacích drátků ,10x zvětšený



Obrázek 25: Detail značení čipu



Obrázek 26: Celistvý pohled na odhalený čip

6 MECHANICKÁ METODA

Mechanickou metodu odpouzdrění použijeme tam, kde chemická nelze použít a to u keramických pouzder opatřeným víčkem buď to kovovým (s pozlacením) nebo skleněným (EEPROM paměti). Víčko v takovýchto pouzdrech lze odstranit poměrně snadno, jelikož jsou na pouzdře zatavené pájkou se směsí cínu a olova, která jsou při vysokých teplotách tavitelná. Jiná keramická pouzdra jsou lepená ze dvou kusů, základny a víčka, po celém obvodu je potom vrstva skleněného těsnění, které lze snadno narušit a tím oslabit soudržnost obou kusů pouzdra. Nástrojů netřeba mnoho.

6.1 Mechanické nástroje, vybavení

Pro tento typ odpouzdrění není nutno speciální dílny, postačí pracovní stůl a zajištění, aby v blízkosti nebyl hořlavý materiál, který by mohl manipulací vzplanout.

- **Plynový hořák** – my použijeme plynovou páječku značky Portasol typ Super Pro 125. Lze zakoupit jakýkoliv hořák s plamenem například Dremel Versa-Flame , důležité je aby teplota byla více než 1000 °C. V prodejně www.naradionline.cz nebo jakýkoliv jiný hořák v hobby marketech či prodejnách s ručním nářadím.
- **Strojní svěrák** – stolní svěrák menších rozměrů s kovovými čelistmi například litinový značky Volfcraft 4920000.
- **Břity lámacích nožů** – na podebrání víčka je břit nejvhodnější, lze zakoupit v prodejnách s nářadím, hobby marketech. Můžeme použít cokoli jiného, například delší šroubovák s ostrým koncem.
- **Kladívko** – nebo jakýkoliv nástroj, se kterým můžeme jemně klepat, já jsem použil rukojeť většího šroubováku.

6.2 Odpouzdrívání CERdip s obvodovým těsněním

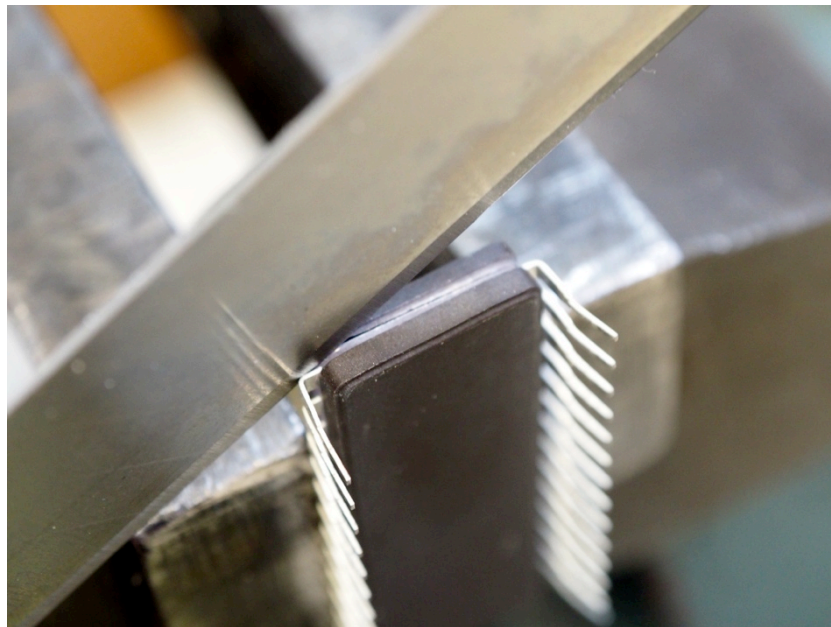
CERdip s obvodovým skleněným těsněním je standardním pouzdrém pro hermetická keramická pouzdra. Skládá se ze dvou částí spojených po obvodu. Vrchní víčko má pro čip a propojovací drátky vytvořenou kapsu a proto se tyto pouzdra nemusí odleptávat, ale postačí pouze odlomení vrchní části, funkčnost obvodu bude zachována. K odvíčkování použijeme integrovaný obvod značky ST Microelectronics s typovým označením M2764A, jedná se o paměť EPROM s velikostí 64kb, která je vybavena průzorem pro vymazání světlem a 28 vývody.



Obrázek 27: Integrovaný obvod ST Microelectronics M2764A

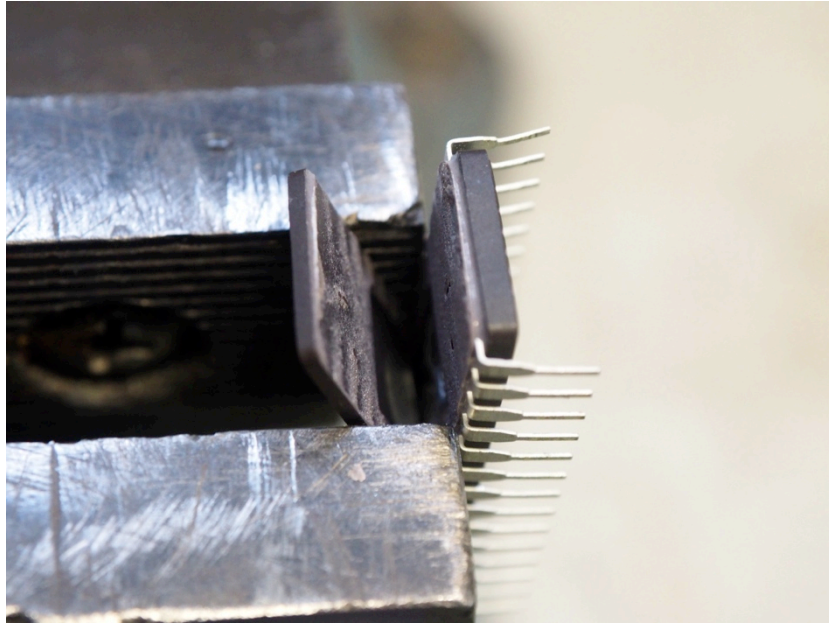
Postup je následující

- 1) Upneme obvod do svěráku stranami s vývody a přiložíme ostrý břit na skleněné těsnění



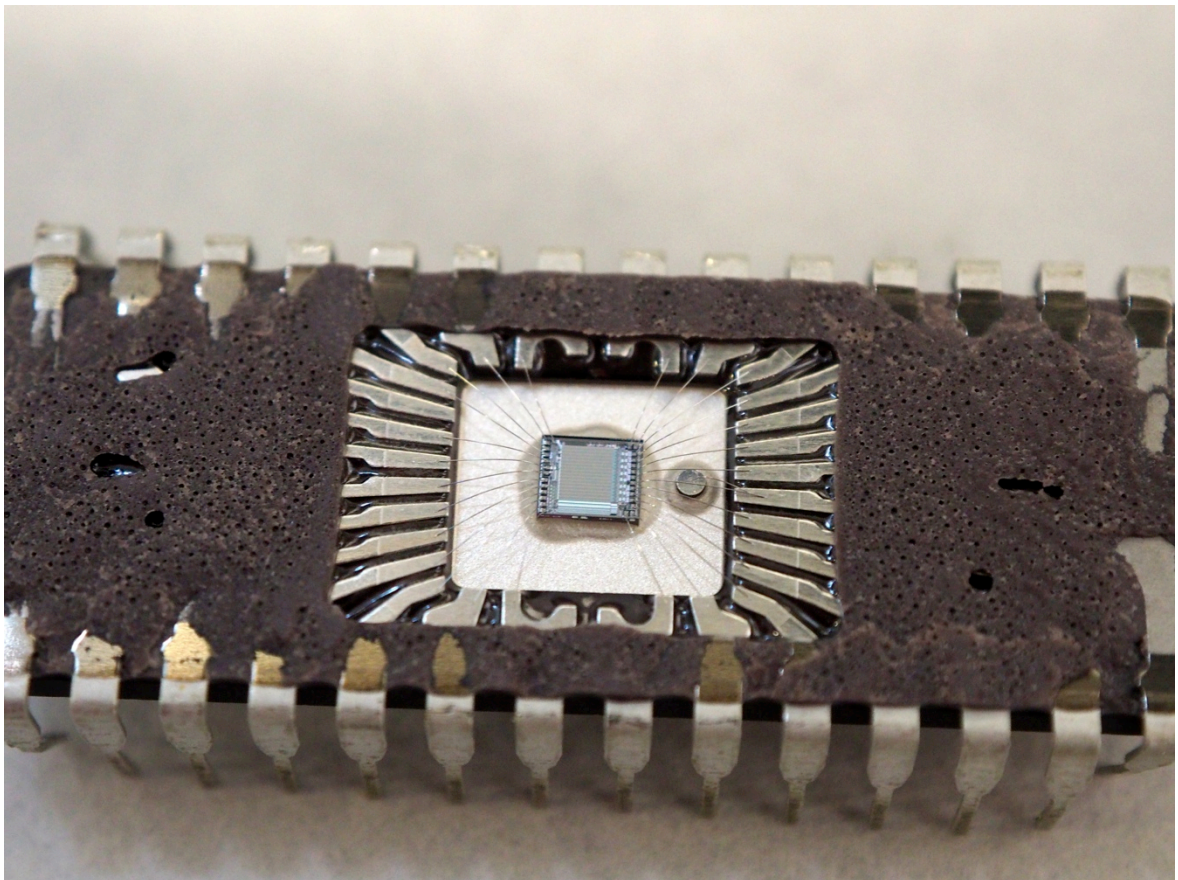
Obrázek 28: Ukázka upnutí a přiložení břitu k těsnění pouzdra

- 2) Mírným poklepáním na břit rukojetí šroubováku či jiným jemným nástrojem můžeme po chvíli očekávat odlomení části vrchní víčka.



Obrázek 29: Odlomená část víčka

- 3) Nyní nám zbyla další polovina čipu, kterou odstraníme stejným způsobem jako první

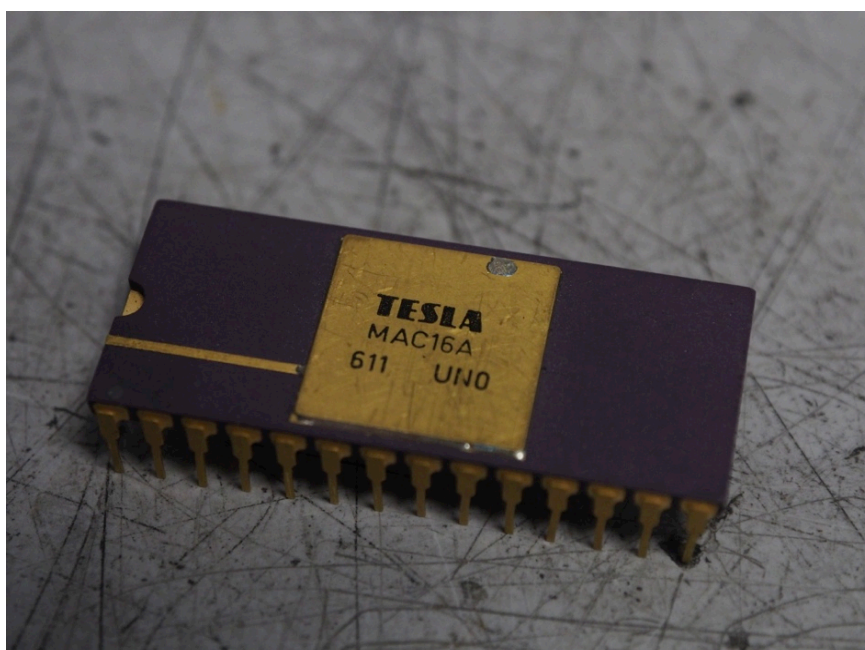


Obrázek 30: Hotové odvíčkování standardního CERdip pouzdra se skleněným těsněním

Odvíčkování je hotovo a na obrázku č. 30 můžeme vidět neporušený čip a propojovacích drátků.

6.3 Odpouzďření CERdip s pájeným víčkem

Metoda nepotřebuje zvlášť velkou přípravu. Integrovaný obvod použijeme typ CERdip 28 značky TESLA a označením MAC16A, jedná se o monolitický 16 kanálový analogový multiplexer pro A/D převodníky.



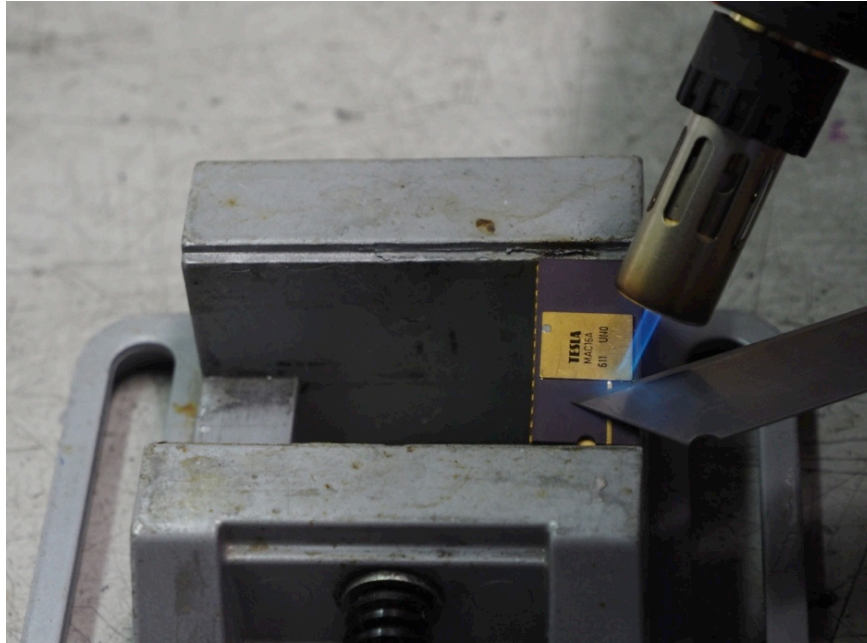
Obrázek 31: Integrovaný obvod TESLA MAC16A

Ze začátku je třeba říct, že se nepodařilo odpouzďřit jinak než pomocí plynového hořáku. První pokus o odpouzďření byl pomocí odporového pájedla, kdy víčko pouzdra bylo vystaveno teplotě hrotu a čekalo se, až se teplo rozšíří na obvod k pájce a roztaví ji, bohužel se nepodařilo, teplota nebyla dostatečná pro roztavení a to ani, když jsem použil pouzdro typu CERdip 14 od Analog Device AD521LD, kde víčko je menší a nemělo by docházet k většímu úniku tepla. Přímý kontakt pájedla páječku dokázal roztavit, ale v tomto případě bychom museli najednou tavit všechny čtyři strany víčka, což je neproveditelné. Stejně tak nešlo odpouzďřit pomocí horkého vzduchu o teplotě kolem 500 °C, pravděpodobně ze stejných příčin jako s odporovým pájedlem.

Plynový hořák byl posledním pokusem jak docílit odpájení, teplota plamene kolem 1300 °C dokáže během pár vteřin roztavit pájku a víčko lze odstranit.

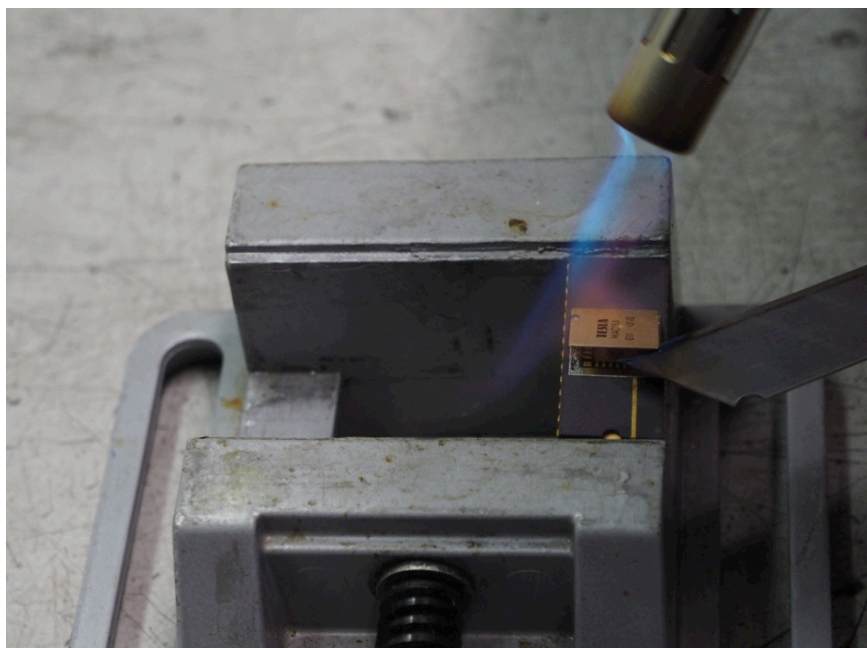
- 1) Pouzdro upneme do svěráku

- 2) Vystavíme víčko hořáku a kroužíme s plamenem po obvodu, snažíme se udržovat konec plamene co nejbližší páječky, na špičce je teplota maximální. Zároveň přiložíme břit k víčku a snažíme se mírnou silou o podebrání.



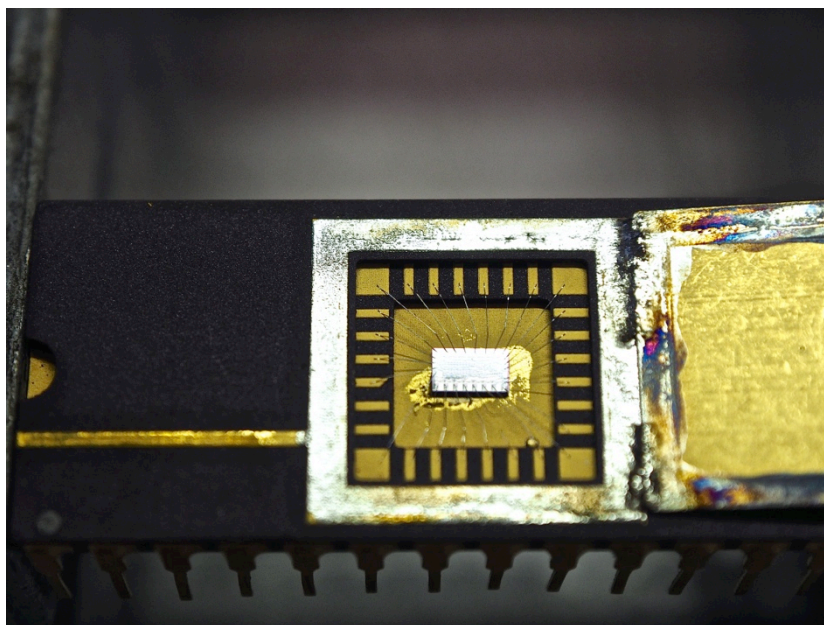
Obrázek 32: Tavení pájky kroužením plamenu po obvodu víčka

- 3) Po pár vteřinách se víčko uvolní a my můžeme plamen odstavit. Musíme dávat pozor, aby se plamen nedostal do vnitřních oblastí pouzdra k čipu, mohlo by dojít k poškození čipu nebo třeba přepálení propojovacích drátků.



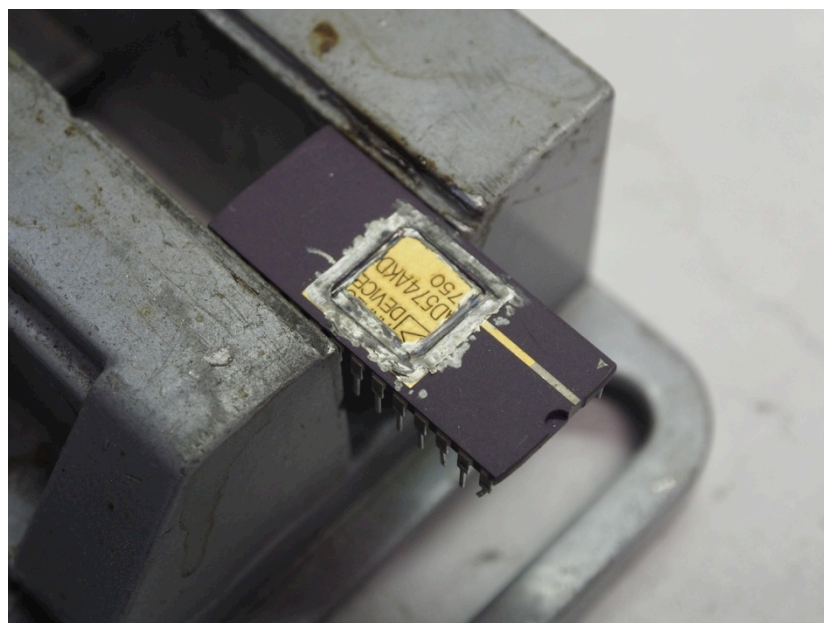
Obrázek 33: Otevírání zapouzdrěného polovodičového obvodu v pouzdře CERdip

Odpouzření CERdip pouzdra je hotové, vnitřek čipu zachován bez poškození.



Obrázek 34: Odvíčkované pouzdro CERdip

Pro odstranění jsme použili metodu tepelně-mechanickou. Pouzdro jsem také zkoušel odstranit odbroušením materiálu po obvodu pomocí elektrického ručního nářadí za pomoci brousícího nástavce. Použil jsem přístroj Dremel 4000. Ovšem tento postup se projevil jako velice nevhodný. Pájka je měkký materiál, při broušení se začal tavit a spíše než aby se odbrušoval tak jsem ho tlačil před sebou, navíc jak se postupovalo s broušením po obvodu tak se víčko propadalo více k čipu, až nakonec zapadlo zcela a nešlo již podebrat.



Obrázek 35: Nevydařené odvíčkování pouzdra CERdip

ZÁVĚR

V teoretické části jsme popsali nejčastěji výrobcí používaná pouzdra a materiály, ze kterých se vyrábějí, vysvětleny jsou vzájemné interakce mezi různými materiály. Máme podrobně popsány části integrovaného obvodu, jejich vlastnosti či rezistence na námi použité chemikálie. Čtenář tímto výčtem dostane jasný obraz složení celého integrovaného obvodu. Dále je zpracován přehled dnes dostupných metod pro zpřístupnění elektronické součástky, jejich výhody a nevýhody. V závěru jsou poté sumarizovány informace nejčastějších chybových projevů integrovaných obvodů, které se týkají nejen padělaných polovodičových součástek.

Praktická část této práce nám ukázala cestu jak zpřístupnit čip v plastových a keramických pouzdrech. Byl vytvořen návod dle požadavku zadání, kde lze metody snadno reprodukovat v laboratořích s odlišným zázemím. Také je sumarizováno vybavení, které je nezbytné pro zpřístupnění a pomůcky osobní ochrany.

V převážné části byla pozornost kladena na chemickou metodu, která je, co se týče zázemí a cenové dostupnosti nejvhodnější, ovšem technicky nejsložitější. Poměry kyselin jsou již dávno známy, stejně také teplota při aplikaci, ovšem každá publikace uvádí tyto parametry odlišně a v tom je problém. Naše laboratoř ve společnosti ON Semiconductor s.r.o. má již tyto parametry ověřené a cílem bylo poskytnout tyto údaje široké veřejnosti. V potaz jsem vzal skutečnost vlastnictví laseru pro ablací materiálu, kterou disponují laboratoře UTB Zlín. Přínosem bylo zjištění, že nelze pro zpřístupnění použít pouze laserové zařízení, ale je potřeba jej doplnit o sekundární metodu, jelikož dochází k průrazu pasivačních vrstev čipu.

V závěru zpřístupníme keramická pouzdra a to čistě mechanickými metodami za pomoci řezných nástrojů a plamenem. Zde jsme si dokázali, že zpřístupnit keramické pouzdro je poměrně snadná záležitost, kde je minimální možnost poškození.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **Nobel Media AB.** The History of the Integrated Circuit. *Nobelprize.org. Nobel Media AB* 2013. [Online] 2003-5-5. [Cited: 2012-10-5.] http://www.nobelprize.org/educational/physics/integrated_circuit/history/?downloadURL=true&loId=F16078C4-0FD7-4EFC-8286-C6FD990C79B5.
2. **Sunami, Hideo.** Dimension Increase in Metal-Oxide-Semiconductor Memories and Transistors. [book auth.] Paul K Chu. *Advances in Solid State Circuit Technologies*. 2010.
3. **Dummer, G.W.A.** *Electronic Inventions and Discoveries 2nd ed.* s.l. : Pergamon Press . ISBN 0-08-022730-9.
4. **SiliconFarEast.** PDIP - Plastic Dual-in-Line Package. *Siliconfareast*. [Online] 2001. [Cited: 2014-3-Květen.] <http://www.siliconfareast.com/pdip.htm>.
5. **Intel Corporation.** Google Books. [Online] 1979-14-Březen. [Cited: 2014-3-Duben.] http://books.google.cz/books?id=Hj4EAAAAMBAJ&pg=PA22&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
6. **Holtek Semiconductor Inc.** *Package information*. [Technická dokumentace] Taipei : Holtek Semiconductor Inc., 2014.
7. **Microchip Technology Inc.** Packaging Specifications. [Online] 2014. [Cited: 2014 -3-Duben.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/PackagingSpec/00000049BR.pdf>.
8. **SiliconFarEast.** SOIC - Small Outline Integrated Circuit . [Online] 2001. [Cited: 2014-6-duben.] <http://www.siliconfareast.com/soic.htm>.
9. **Fjelstad, Joseph.** Materials and Methods for IC Package Assemblies. *Packaging Design Review*. [Online] Extension Media, 2014. [Cited: 2014-4-duben.] <http://electroiq.com/blog/2005/08/materials-and-methods-for-ic-package-assemblies/>.
10. **Siliconfareast.** Lead Finish. [Online] www.SiliconFarEast.com, 2006. [Cited: 2014-4-duben.] <http://www.siliconfareast.com/leadfinish.htm>.
11. **Writers, Staff.** Iron-Nickel Low Expansion Alloy 42 (K94100/ASTM F30). [Online] [AZoM.com](http://www.AZoM.com), 2013-24-červen. [Cited: 2014-5-duben.] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9701>.

12. **Zonghe, Lai and Johan, Liu.** Chapter A: Wire Bonding. *The Nordic Electronics Packaging Guideline*. [Online] 2000. [Cited: 2014-5-duben.] <http://extra.ivf.se/ngl/documents/ChapterA/ChapterA2.pdf>.
13. **Clauberg, Horst, Backus, Petra and Chylak, Bob.** Nickel-palladium bond pads for copper wire bonding. *Microelectronics Reliability*. [Online] 2010 йил. [Cited: 2014-5-duben.] http://www.atotech.com/fileadmin/pdf/papers/el/Nickel-palladium_bond_pads_for_copper_wire_bonding.pdf.
14. **Heraeus Materials Technology.** Gold Bonding Wires. *Precious metals and technology*. [Online] 2014. [Cited: 2014-5-duben.] http://heraeus-contactmaterials.com/en/products/audr/productpage_smt_adhesives_2.aspx.
15. **Coining inc.** Gold Bonding Wire & Ribbon. *Coining inc.* [Online] 2011. [Cited: 2014-5-duben.] http://www.coininginc.com/gold_wire_and_ribbon.asp.
16. **Epoxy Technology Inc.** Tg - Glass Transition, Temperature for Epoxies. *Epoxy Technology*. [Online] 2012. [Cited: 2014-6-duben.] <http://www.epotek.com/site/files/Techtips/pdfs/tip23.pdf>.
17. **Gilleo, Ken.** Time to Consider Thermoplastic Material for Electronic Packaging. *Thermoplastics for Packaging*. [Online] 2007. [Cited: 2014-6-duben.] http://www.et-trends.com/files/Thermoplastics_for_Packaging.pdf.
18. Liquid Crystal Polymer (LCP) Plastic. *The Prospector®*. [Online] 2014. [Cited: 2014-6-duben.] <http://plastics.ides.com/generics/17/liquid-crystal-polymer-lcp>.
19. **Lange, Mary Beth.** Characterizing ceramic integrated circuit packaging. *SJSU ScholarWorks*. [Online] 1992. [Cited: 2014-10-duben.] http://scholarworks.sjsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1470&context=etd_theses.
20. **Kyocera inc.** Chemical Resistance. *Kyocera*. [Online] 2014. [Cited: 2014-11-duben.] <http://global.kyocera.com/prdct/fc/list/tokusei/yakuhin/index.html>.
21. **Dzioba, Steven, Este, G. and Naguib, H. G.** Decapsulation and Photoresist Stripping in Oxygen Microwave Plasmas. *The Electrochemical Society*. 10/1982.
22. **Beck, Friedrich.** *Integrated Circuit Failure Analysis: A Guide to Preparation Techniques*. West Sussex : John Wiley & Sons, 1998. ISBN: 978-0-471-97401-7.

23. *A unique application of decapsulation combining laser and plasma.* **Baer, J., et al.** Center for Nanoscale Sci. & Eng : IEEE, 2009. ISBN 978-1-4244-4475-5.

24. **Coining, Inc.** Copper Wire Bonding. *Coining, Inc.* [Online] 2011. [Cited: 2014-5-duben.] http://www.coininginc.com/Copper_Wire.asp.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|------------|---|
| IO | Integrovaný obvod. |
| TSMC | Taiwan Semiconductor Manufacturing Company |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| DIL | Dual-in-Line |
| SMD | Surface-mount-device |
| EPROM | Erasable Programmable Read-Only Memory |
| TSMC | Taiwan Semiconductor Manufacturing Company |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| GAL | Generic Array Logic |
| LED | Light-Emitting Diode |
| JEDEC SSTA | Joint Electron Devices Engineering Council Solid State Technology Association |
| THT | Through-hole technology |
| DPS | Deska plošných spojů |
| SIP | Single-In-Line |
| QIL | Quad-In-Line |
| SPDIP | Shrink Plastic Dual-In-Line |
| SKDIP | Skinny Dual In-Line |
| SO | Small Out-line |
| SOIC | Small Out-Line Integrated Circuit |
| MSOP | Micro Small Out-Line Package |
| SSOP | Shrink Small Out-Line Package |
| TSOP | Thin Small Out-Line |
| TSSOP | Thin Shrink Small Out-Line |
| QSOP | Quarter Small Out-Line |

| | |
|--------------------------------|---|
| QFP | Quad Flat Package |
| Fe-Ni | Ferrum-Nikl |
| AMD | Advanced Micro Devices |
| BT | Bismaleimide-Triazine |
| FR-4 | Flame retardant |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| Mg | Magnesium |
| Si | Silicon |
| pH | Pondus hydrogenia |
| Tg | Glass Transition |
| CAS | Chemical Abstracts Service |
| DGEBA | Bisphenol A diglycidyl ether |
| TGAP | Triglycidyl p-amino phenol |
| DDM | Diaminodiphenyl methane |
| DDS | Diaminodiphenyl sulfone |
| DETDA | Diethyl toluene diamine |
| TETA | Triethylene tetramine Dioctyl phthalate Diglycidylether |
| C | Carbon |
| H | Hydrogenium |
| O | Oxygenium |
| LCP | Liquid crystal polymers |
| PEEK | Polyetheretherketone |
| PPA | Polyphthalamide |
| PPS | Polyphenylene Sulfide |
| Al ₂ O ₃ | Aluminum Oxide |
| BeO | Beryllium oxide |

| | |
|--------------------------------|---|
| SiC | Silicon carbide |
| AiN | Aluminum nitride |
| IGBT | Insulated-gate bipolar transistor |
| GaAs | Gallium arsenide |
| Si ₃ N ₄ | Silicon nitride |
| TO92 | Transistor Outline Package, Case Style 92 |
| HNO ₃ | Nitric acid |
| H ₂ SO ₄ | Sulfuric acid |
| CAD | Computer-aided design |
| MHz | Megahertz |
| MIP | Microwave Induced Plasma |
| MOS | Metal Oxide Semiconductor |
| IR | Infrared |
| PVC | Polyvinyl chloride |
| CERdip | Ceramic dual in package |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Wafer společnosti TSMC s hotovými obvody EEPROM..... | 12 |
| Obrázek 2: Detail Integrovaného obvodu, před zapouzdřením | 13 |
| Obrázek 3: Pouzdro DIL16, nejčastěji využívaný typ | 14 |
| Obrázek 4: Quad Flat Package..... | 17 |
| Obrázek 5: Varná deska Super Nouva HP133420-33Q..... | 35 |
| Obrázek 6: Pipeta „kapátko“ 3ml | 36 |
| Obrázek 7: Zešíkmení konce pipety, je důležité pro přesnou aplikaci kyseliny..... | 40 |
| Obrázek 8: Množství aplikované kyseliny je opravdu malé..... | 41 |
| Obrázek 9: Oplachování pouzdra acetonem | 41 |
| Obrázek 10: Naleptané pouzdro po první aplikaci kyseliny..... | 42 |
| Obrázek 11: Reakce kyseliny s pouzdřícím materiálem..... | 42 |
| Obrázek 12: Čištění pouzdra pomocí ultrazvukového vlnění..... | 43 |
| Obrázek 13: Ukázka mytí pouzdra od agresivní kyseliny | 43 |
| Obrázek 14: Osušení tlakovým dusíkem | 44 |
| Obrázek 15: Odpouzdřené pouzdro integrovaného obvodu | 44 |
| Obrázek 16: Detail zničené pasivační vrstvy čipu po laserovi ablaci..... | 45 |
| Obrázek 17: Detail propojovacích drátku na čipu zvětšené 10x | 46 |
| Obrázek 18: Detail hliníkových podložek 20x zvětšený | 47 |
| Obrázek 19: Detail propálení do nižších vrstev hliníkové podložky, 100x zvětšeno..... | 47 |
| Obrázek 20: Kyselina by měla být aplikována do středu pouzdra | 48 |
| Obrázek 21: Odhalený čip po osmi aplikacích kyseliny..... | 49 |
| Obrázek 22: Odpouzdřený čip čistě chemickou metodou po 12 aplikacích..... | 49 |
| Obrázek 23: Detail odpouzdřeného čipu | 50 |
| Obrázek 24: Detail propojovacích drátku 10x zvětšené | 51 |
| Obrázek 25: Detail značení čipu..... | 51 |
| Obrázek 26: Celistvý pohled na odhalený čip Hitachi | 52 |
| Obrázek 27: Integrovaný obvod STMicroelectronics M2764A | 54 |
| Obrázek 28: Ukázka upnutí a přiložení bříty k těsnění pouzdra..... | 54 |
| Obrázek 29: Odlomená část víčka | 55 |
| Obrázek 30: Hotové odvíčkování standardního CERdip pouzdra se skleněným těsněním..... | 55 |
| Obrázek 31: Integrovaný obvod TESLA MAC16A..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 32: Tavení pájky kroužením plamenu po obvodu víčka | 57 |
| Obrázek 33: Otvírání zapouzdřeného polovodičového obvodu v pouzdře CERdip..... | 57 |
| Obrázek 34: Odvíčkované pouzdro CERdip | 58 |
| Obrázek 35: Nevydařené odvíčkování pouzdra CERdip..... | 58 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I Návod pro zpřístupnění čipu integrovaných obvodů

PŘÍLOHA P I: NÁVOD PRO ZPŘÍSTUPNĚNÍ ČIPU INTEGROVANÝCH OBVODŮ

Zpřístupnění plastových pouzder chemickou metodou

Technické Vybavení:

- Topná deska s regulací teploty na 85° C
- 2x Skleněná kádinka 50ml
- Pipeta
- Stříčka
- Pinzeta
- Ultrazvuková vana

Média:

- Kyselina dusičná dýmavá HNO₃ (CAS 7697-37-2)
- Kyselina sírová H₂SO₄ (CAS 7664-93-9)
- Aceton C₃H₆O (CAS 67-64-1)
- Demineralizovaná voda

Příprava:

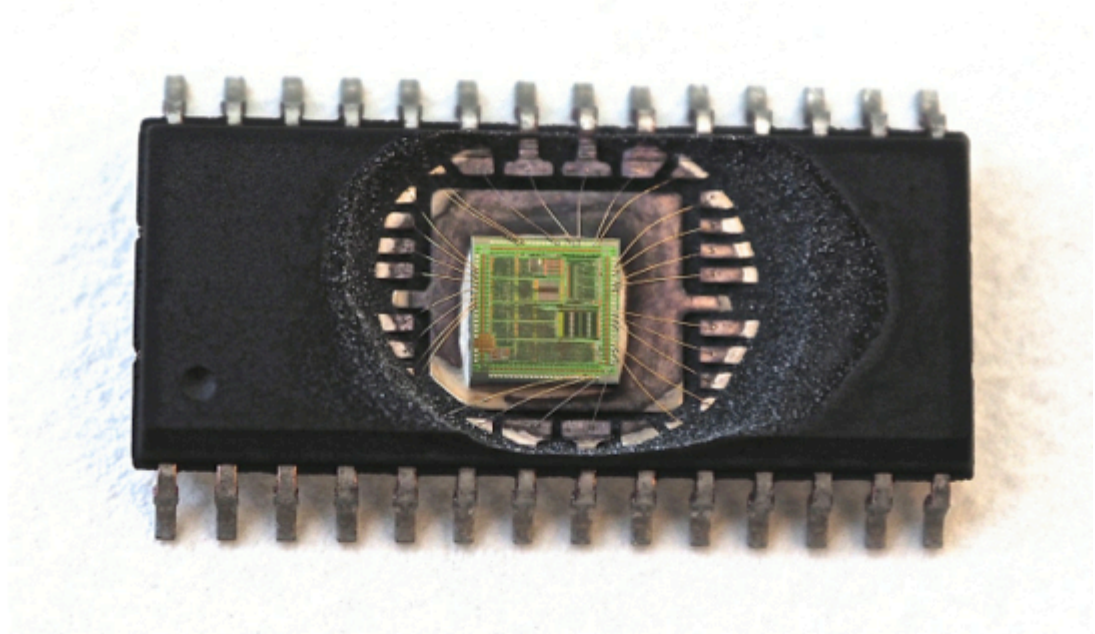
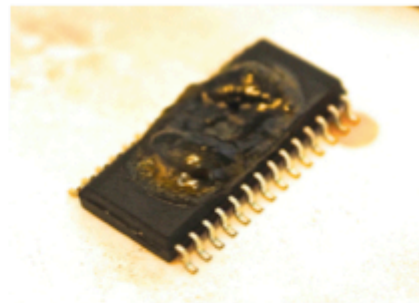
- Topnou desku nastavíme na teplotu 75 °C
- Aceton nalijeme do stříčky – pro oplachování od kyseliny
- Destilovanou vodu nalijeme do ultrazvukové vany
- 2 kádinky s acetonem a destilovanou vodou
- Kyselinu dusičnou a sírovou smícháme v poměru 3:2, postačí 15ml a 10ml a položíme na topnou desku
- Pipetu zkrátíme řezem v mírném sklonu tak aby vznikla na konci špička.

Metodika:

- Vezmeme pipetou malé množství kyseliny a aplikujeme do středu pouzdra, první aplikace je klíčová jelikož nám vytvoří jamku, která bude určovat místo vyleptání.



- Kyselina začne ihned reagovat, po 5 vteřinách sundáme a opláchneme acetonem, necháme samovolně vysušit a dáme zpět zahřívát.
- Opět aplikujeme kyselinu, počkáme, až začne reakce a poté ihned opláchneme.
- Opakujeme, dokud nedosáhneme cíle,
- poté vložíme do kádinky s acetonem a vložíme na 5 vteřin do ultrazvukové vany.
- následuje lázeň v destilované vodě a vysušíme



Tipy:

- každé pouzdro je svým způsobem unikát, počet opakování aplikace je individuální
- Kyselina dusičná dýmavá má teplotu varu kolem 85 °C, zhruba po 20 min dojde k odpaření a k poklesu účinnosti. Je potřeba namíchat opětovně.
- Nenechte propojovací drátky dlouho vystavené kyselinám, jakmile aplikujete okamžitě oplachujte

Zpřístupnění keramických pouzder mechanickou metodou

1. CerDIP s víčkem

Technické vybavení:

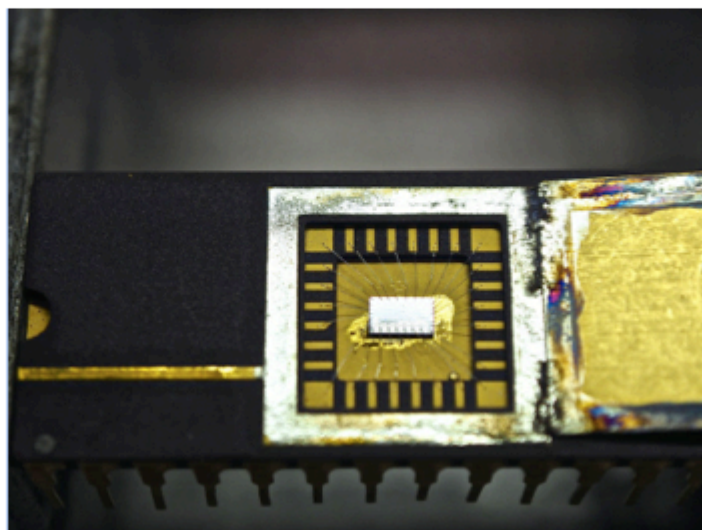
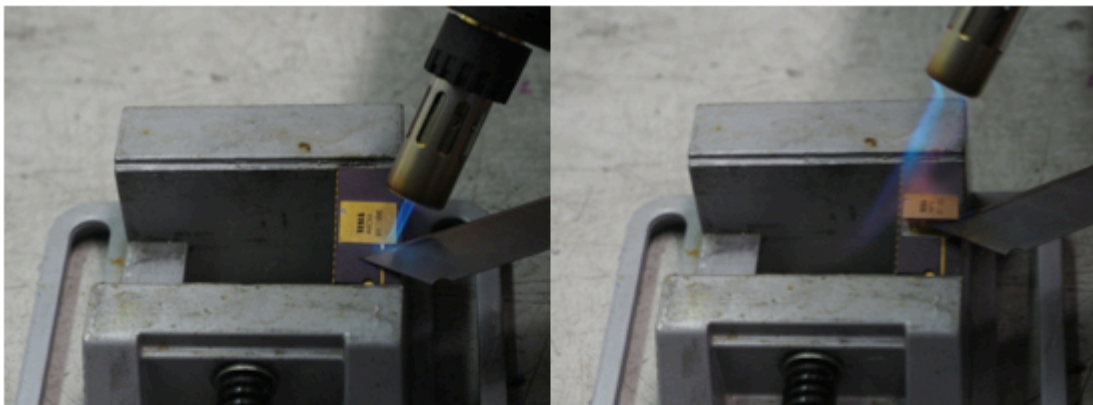
- Plynový hořák o teplotě $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Menší stolní svěrák s kovovými čelistmi
- Břity lámacích nožů

Příprava:

- Upneme CerDIP do svěráku
- Hořák nastavíme na maximální teplotu

Metodika:

- Plamenem postupně nahřejme po celém obvodu víčka pájku
- Po pár vteřinách dojde k uvolnění a zároveň podebereme víčko břitem



2. CerDIP s těsněním

Technické vybavení:

- Menší kladívko
- Břit lámacích nožů
- Stolní svěrák

Příprava:

- Upneme do svěráku vrchní části vždy delší stranou

Metodika:

- Břit přiložíme na skleněné těsnění
- Lehkým poklepáním odloíme vrchní díl

