

Aplikace laseru pro otevření přístupu k systému na čipu zapouzdřené součástky

Bc. Josef Snopek

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef Snopek**
Osobní číslo: **A12329**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Aplikace laseru pro otevření přístupu k systému na čipu zapouzdřené součástky**

Téma anglicky: **The Application of Lasers For Component Package Decapsulation**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s obsluhou a funkčními možnostmi laserového zařízení pro zpřístupnění čipu zapouzdřených součástek. Prostudujte detailně podmínky použití jednotlivých funkcí.
2. Seznamte se s obsluhou a praktickým využitím přístroje pro vícekanálové snímání voltampérových charakteristik. Toto zařízení použijte k ověření vlivu technologického procesu na případné změny těchto charakteristik.
3. Experimentálně prostudujte možnosti sestavování komplexních receptur pro zpřístupnění čipu.
4. Sestavte recepturu pro selektivní odstranění části pouzdra pro vybrané elektronické součástky a proveďte její experimentální ověření dokumentované příslušnými snímky případně voltampérovými charakteristikami.
5. Poznatky z experimentálního návrhu a ověření receptur zpracujte systematicky do instrukční příručky a prezentace.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:


1. **CRAWFORD, M. 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. **NISHI, Y., DOERING, R., Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology. Second Edition, CRC Press, 2012.**
5. **Anonym: User Manual LightRay LaserStudio 2012. LightRay Marking Systems GmbH, Winkelhaid, Germany, 2012.**
6. **Anonym: SENTRY Counterfeit IC Detector Operator's manual, Revision 2.10, ABI Electronics Ltd., UK, 2012.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Neumann, Ph.D.**
Ústav elektroniky a měření


Datum zadání diplomové práce: **7. února 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2014**

Ve Zlíně dne 7. února 2014


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/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 diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/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 diplomovou/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 – diplomovou/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 diplomové/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 diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na aplikaci laseru pro otevření přístupu systému čipu zapouzdřené součástky z důvodu ověření její pravosti. Teoretická část se zabývá problematikou padělání elektronických součástek, odkud a proč se tyto padělky objevují a také, které elektronické součástky jsou nejčastěji padělané. Dále jsou popsány základní metody odhalování padělaných elektronických součástek a materiály používané pro výrobu pouzder těchto součástek. Cílem praktické části je sestavení receptury pro zpřístupnění čipu zkoumané součástky. Dalším cílem je ověření vlivu technologického procesu na funkčnost součástky pomocí měření voltampérových charakteristik na detektoru padělků. Experimentální návrh a ověření výsledné receptury je systematicky vyhodnoceno a prodiskutováno.

Klíčová slova: padělky, elektronická součástek, pouzdra, metody detekování padělků, vláknový laser, volt-ampérová charakteristika.

ABSTRACT

The dissertation is focussing on the laser application for component package decapsulation and verification of their authenticity. The theoretical part deals with the issue of counterfeiting of electronic components, describes whence and why are appear these counterfeits and which electronic components are most often counterfeited. The theoretical part also describes usual methods of detection of counterfeit electronic components and materials used for production package of these components. The aim of practical part is to set procedure for component package decapsulation. The next aim is to verify the effect technological process on functionality these components by using measurement current-voltage characteristics on counterfeit detector. Experimental draft and validation of the resulting procedure is systematically evaluated and discussed.

Keywords: counterfeits, electronic components, packages, method of detecting counterfeits, fiber laser, current-voltage characteristics.

Poděkování:

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Petru Neumannovi, Ph.D. za jeho ochotu a odborné vedení, věcné připomínky a poskytnuté cenné rady při tvorbě diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem, co mi pomohli při studiu a zvláštní poděkování patří mým rodičům za podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 PADĚLÁNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	12
1.1 PŮVOD PADĚLKŮ	13
1.2 ZPŮSOBY PADĚLÁNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	14
1.3 NEJČASTĚJI PADĚLANÉ ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY	16
2 METODY DETEKOVÁNÍ PADĚLANÝCH SOUČÁSTEK	19
2.1 VNĚJŠÍ VIZUÁLNÍ KONTROLA.....	19
2.1.1 Přeznačení a blacktopping.....	20
2.1.2 Vlasy	20
2.1.3 Struktura povrchu.....	21
2.1.4 Stav vývodů součástky a sledování fyzických rozměrů.....	21
2.2 VNITŘNÍ VIZUÁLNÍ KONTROLA	22
2.2.1 Rentgenová analýza (X-ray)	22
2.2.2 Akustická mikroskopie (Scanning Acoustic Microscopy).....	23
2.2.3 Infračervená termografie (Infrared Thermography).....	24
2.3 ANALÝZA MATERIÁLŮ.....	24
2.3.1 Ramanova spektroskopie	24
2.3.2 Rentgenová fluorescenční spektroskopie (XFR)	25
2.4 ELEKTRICKÉ TESTOVÁNÍ	26
2.4.1 Měření voltampérových charakteristik	26
2.4.2 Parametrické měření.....	27
2.5 OTEVŘENÍ PŘÍSTUPU K VNITŘNÍ STRUKTUŘE SOUČÁSTKY (DECAPSULATION)	27
3 POUZDRA POLOVODIČOVÝCH ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	29
3.1 HERMETICKÁ POUZDRA.....	29
3.1.1 Keramická pouzdra	29
3.1.2 Kovová pouzdra	30
3.2 NEHERMETICKÁ POUZDRA.....	31
3.2.1 Materiály plastových pouzder	31
3.2.1.1 Termoplasty	31
3.2.1.2 Reaktoplasty.....	32
3.2.1.3 Elastomery	32
3.2.2 Technologie zpracování polymerů na plastová pouzdra.....	33
3.2.2.1 Vstřikování.....	33
3.2.2.2 Zalévání	33
3.2.2.3 Fluidizace.....	34
4 LASEROVÉ OTEVŘENÍ PŘÍSTUPU K VNITŘNÍ STRUKTUŘE SOUČÁSTEK	35
4.1 NEVÝHODY CHEMICKÉHO OŠETŘENÍ OPROTI LASEROVÉ ABLACI	36
4.2 KOMBINACE CHEMICKÉHO OŠETŘENÍ A LASEROVÉ ABLACE	37
5 VLÁKNOVÝ LASER	38

5.1	PRINCIP VLÁKNOVÉHO LASERU	38
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
6	ZPŘÍSTUPNĚNÍ ČIPU ZAPOUZDŘENÉ SOUČÁSTKY	43
6.1	INSTRUMENTACE	43
6.1.1	Softwarové prostředí pro Crow SE	44
6.2	ZKOUMANÝ VZOREK A ÚČINEK VLÁKNOVÉHO LASERU NA MATERIÁL POUZDRA	47
6.3	VÝSLEDNÁ RECEPTURA	50
6.4	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ	54
7	OVĚŘENÍ VLIVU TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	57
7.1	INSTRUMENTACE	57
7.1.1	Softwarové prostředí SENTRY	59
7.2	POSTUP PŘI MĚŘENÍ VA CHARAKTERISTIK	60
7.3	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ	63
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM TABULEK	75

ÚVOD

Možnost práce a výzkumu na zvoleném tématu mne ihned zaujala a byla pro mne výzvou, neboť jsem se s daným tématem doposud neseťkal. Mou první otázkou bylo, zda vůbec a jakou souvislost má řešení daného problému s mým studijním oborem Bezpečnostní technologie, systémy a management. Stěžejním problémem byl nedostatek literatury v mém rodném jazyce, jelikož se tomuto problému u nás zatím nevěnuje přílišná pozornost a je do ní zainteresováno jen velmi málo odborníků. Bylo tedy nutné čerpat informace z literatury od zahraničních autorů. Záhy jsem ovšem nabyl dojmu, že daným tématem je nutno se zabývat, jelikož pronikání padělků do soustav výrobků je zcela běžné a použití takovéto neautentické součástky může mít za následek selhání výrobku. Toto selhání poté může způsobit finanční újmu výrobcí či spotřebiteli, ale zejména při použití v systémech pro letectví, dopravu, bezpečnost, armádu apod. může dojít k ohrožení zdraví osob či dokonce mít smrtelné následky. Jelikož samotný název mého studijního oboru obsahuje slovo bezpečnost a jeho základním posláním je zajištění této bezpečnosti, nabyl jsem přesvědčení, že je nutné se tímto problémem intenzivněji zabývat. Další motivací bylo přiblížit a pochopit problémy s ověřováním pravosti elektronických součástek dalším osobám, které tato problematika zaujme.

Cílem mé práce je využití poměrně nově rozšířeného vláknového laseru, pomocí kterého odstraním materiál pouzdra v požadované oblasti tak, aby byl zpřístupněn systém na čipu a to takovým způsobem, kterým bude umožněno ověření jeho pravosti. Z počátku nebylo jasné, zda a v jaké míře je možno s dostupným laboratorním vybavením tohoto cíle dosáhnout. Bylo nutné detailně prostudovat podmínky použití jednotlivých funkcí a nastavitelných hodnot laseru pro sestavení výsledné receptury otevření plastového pouzdra zkoumané součástky. Druhým stěžejním úkolem bylo ověření vlivu tohoto technologického procesu otevírání pouzdra na funkčnost a vlastnosti zkoumané součástky.

Diplomová práce je členěna do několika kapitol, v kterých bude čtenář zasvěcen do dané problematiky, bude seznámen s dalšími obvyklými metodami odhalování padělaných součástek, s materiály pro výrobu jejich pouzder a také principem funkce vláknového laseru. Díky poznatkům z teoretické části práce je možné uskutečnit a pochopit experimentální výzkum v praktické části.

Po přečtení práce bude čtenář nejen zasvěcen do dané problematiky, ale také seznámen s instrumentací a jejím ovládáním pro vykonání dosažených cílů. Nelze také opomenout

výsledky a hodnocení jednotlivých kapitol v praktické části, ve kterých jsou hodnoceny dosažené výsledky, které jsou podrobně rozebrány a uvedeny návrhy pro budoucí zkoumání. [1], [9]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PADĚLÁNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

V současné době se padělání výrobků renomovaných značek a jejich distribuce stává stále větším problémem ve všech odvětvích v celosvětovém měřítku. Ne jinak je tomu v oblasti elektronických součástek.

Padělané součástky lze definovat jako zboží vyrobené a distribuované v rozporu s autorskými právy, ochrannými známkami, duševním vlastnictvím nebo které jsou jinak z pohledu majetkového práva zkresleny. V případě elektronických součástek lze označit za padělek výrobek, jehož materiál, výkon nebo vlastnosti jsou vědomě zkresleny od prodejce, dodavatele, distributora nebo výrobce. [7]

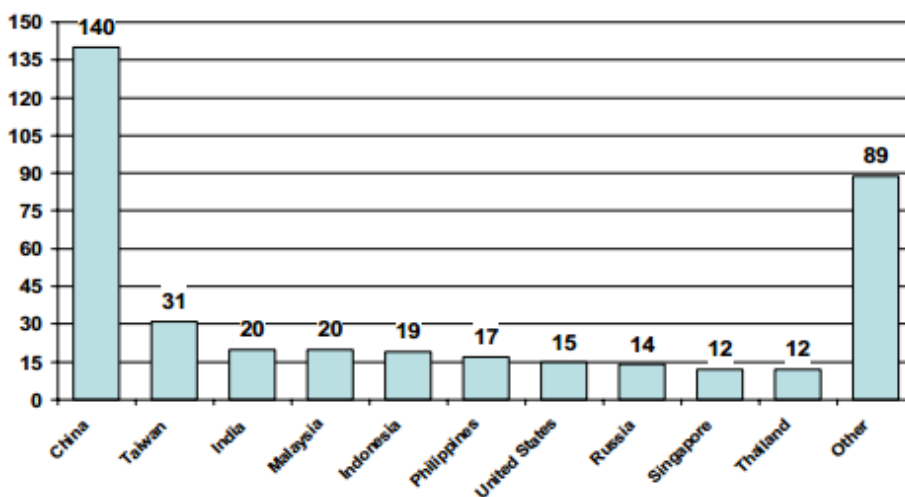
Důvod padělání elektronických součástek je prostý a je jím především finanční zisk padělatelů a také distributorů padělků. Dalšími důvody bývají nedostupnost nebo zrušení výroby dané součástky. K šíření padělků na trhu přispívá často nedostatečné a podceněné ověřování pravosti elektronických součástek pomocí elektrického a fyzikálního testování, kdy jednotlivé organizace v dodavatelském řetězci spoléhají v tomto směru na ostatní a sami toto testování provádějí jen ve velmi malé míře. Ke zlepšení by také přispěla lepší legislativa některých zemí a přísnější celní kontroly.

Tyto neoriginální elektrické součástky na volném trhu představují nejen ohrožení kvality a spolehlivosti spotřební elektroniky, kdy může utrpět renomé výrobce, ale zejména riziko selhání citlivých systémů v lékařství, průmyslových systémech, zbraňových systémech, systémech civilního a vojenského letectví, systémech pro kosmický výzkum a mnoha dalších, u kterých je ohroženo zdraví a životy lidských osob. Je tedy zřejmé, že je v zájmu výrobců a koncových uživatelů, aby byly vyvíjeny a nasazovány analytické metody detekce padělaných součástek a zabránilo se jejich použití v sestavách výrobků originálních výrobců. [1], [8], [9]

1.1 Původ padělků

Podle Organizace spojených národů, je po celém světě generováno přibližně 20 až 50 miliónů tun odpadu za rok z elektrických a elektronických zařízení. Tento odpad by měl být ekologicky likvidován, ovšem osud velkého množství je neznámý. Příkladem může být již výše zmíněná studie Organizace spojených národů, která uvádí, že v případě Evropské Unie až u celých 75% tohoto odpadu neexistují žádná data, jak je s ním nakládáno. Zde je prostor, aby tato zařízení unikla řádné likvidaci a tzv. skrytými toky (hidden flow) byly nelegálně exportovány většinou do asijských zemí, kde jsou zařízení rozmontována a jsou z nich vyjmuty jednotlivé součástky a materiály. K tomuto vytěžování součástek často dochází hrubou cestou v nepříznivých podmínkách, jako je vlhkost, vysoké teploty a prašná prostředí. Poté jsou takto získané součástky upraveny a opět distribuovány na evropský nebo americký trh za citelně nižší ceny.

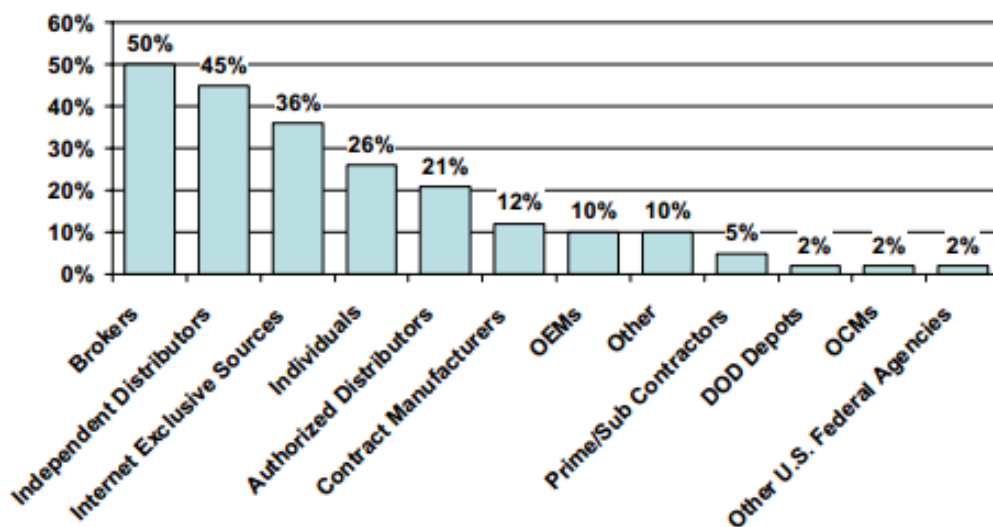
V průzkumu Úřadu pro průmysl a obchod amerického ministerstva obchodu byli osloveni výrobci diskretních součástek a integrovaných obvodů, aby určili země podezřelé nebo potvrzené jako zdroje padělaných součástek. Mnoho výrobců originálních součástek tvrdí, že je složité přesně určit původce těchto součástek, nicméně nejčastěji byly identifikovány země z Asie, v převážné většině pak Čína, jak je vidět v *Graf č.1 Země původu padělaných součástek podle výrobce*. V grafu je také sloupec ostatní, označující více zemí dohromady¹. [1], [10]



Graf č.1 Země původu padělaných součástek podle výrobců. [1]

¹ Sloupec "Ostatní" v grafu č. 5 je společné označení zemí: Singapur, Thajsko, Brazílie, Mexiko, Izrael, Severní Korea, Velká Británie, Paraguay, Írán, Gruzie, Maďarsko, Chile, Rumunsko, Uruguay.

Podstatné jsou také poznatky, přes které subjekty padělané součástky pronikají do dodavatelského řetězce. Přestože výrobci nakupují součástky od osvědčených dodavatelů, nelze zaručit, že se k nim padělky nedostanou. Tito dodavatelé nejsou často správně vyškoleni anebo vybaveni k zabránění šíření padělaných elektronických součástek. Do výsledků byly zahrnuty pouze ty subjekty, u kterých se padělky vyskytly. Nejčastěji byli identifikováni makléři, nezávislí dodavatelé a výhradně internetoví prodejci. Zajímavostí také je, že 21% originálních výrobců označilo jako prodejce součástek autorizované prodejce. [1], [11]



Graf č.2 Procenta výskytu padělků v dodavatelském řetězci uvedená originálními výrobci součástek. [1]

1.2 Způsoby padělání elektronických součástek

Existuje mnoho variant způsobů padělání elektronických součástek. Padělatelé jsou v tomto ohledu velmi nápadití a podle potřeby dokonalosti padělku pro jejich zisk se můžeme setkat s prázdnými pouzdry opatřenými pouze vývody a označené stejně jako originální součástky, ale také s velmi propracovanými padělkami, které se blíží svými vlastnostmi originálům, ale svou spolehlivostí, životností a teplotními rozsahy nedosahují potřebných kvalit a je zde zvýšená pravděpodobnost jejich selhání.

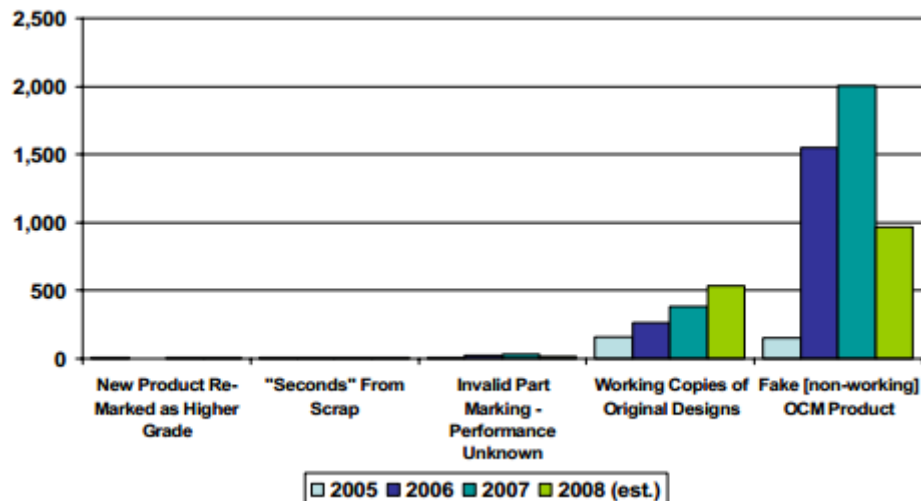
Mezi nejčastější způsoby padělání patří:

- vadné součástky, které byly odkloněny z procesu likvidace nebo z jiných zdrojů,
- přeznačení součástek (např. na výkonnější model),
- prázdná pouzdra pouze s vývody,
- kopie originální součástky vyrobená výrobcem (padělatelem) bez autorských práv,
- použití součástek z nadbytků ve výrobě, které nemusejí být testovány,
- znovu použití starých součástek (pokud je tento stav popsán výrobcem, nejsou považovány za padělky),
- padělání v dokumentaci součástky apod.

Odkloněné součástky z procesu likvidace tzv. recyklované součástky jsou vyjmuty z vyřazených desek plošných spojů, jak již bylo zmíněno v podkapitole *1.1 Původ padělků*. Poté se pouzdro získané součástky potáhne novou vrstvou připomínající původní strukturu povrchu (blacktopping) a součástka je označena podle potřeby padělatelů.

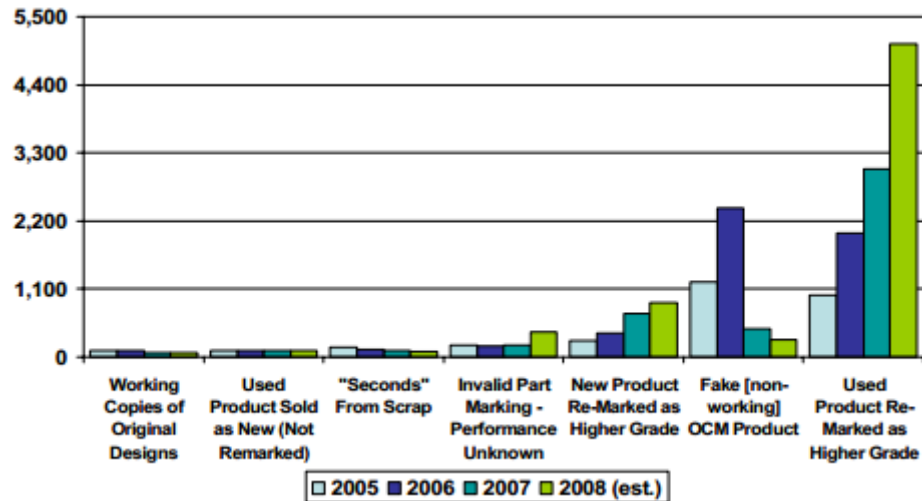
Součástky nadbytečné výroby, které se neměly nikdy dostat na trh, jsou nedůvěryhodné. Takovéto součástky nejsou testovány podle podmínek stanovených výrobcem před dodáním na trh a jejich použití v sestavách originálních výrobků představuje bezpečnostní hrozby. Další variantou je kopie originální součástky vyrobená třetí stranou, která nevládní autorská práva na výrobu součástky. Zde padělatelé nepostupují podle předepsaných postupů originálního výrobce a výsledná součástka je pouze napodobeninou originálu, která nedosahuje požadovaných vlastností. [8], [9], [12]

Průzkum Úřadu pro průmysl a obchod amerického ministerstva obchodu se také zabýval, jak byly zachycené padělky na trhu upraveny nebo vyrobeny. Zveřejněná data jsou za období 2005 až 2008 a dávají nám přehled o nejčastějších způsobech padělání nepůvodních součástek. Zvlášť jsou uvedeny diskrétní součástky a integrované obvody. V případě diskrétních součástek se nejčastěji vyskytují nefunkční součástky, nicméně prodávané jako nové produkty. Druhou nejběžněji využívanou variantou jsou fungující kopie s originálním designem viz. *Graf č.3 Způsoby padělání diskrétních součástek za období 2005 až 2008*.



Graf č.3 Způsoby padělení diskretních součástek za období 2005 až 2008. [1]

V dalším grafu jsou zachyceny údaje o nejčastějších způsobech padělení u integrovaných obvodů. Zde je nejběžnějším postupem padělení přeznačení produktu na nový vyšší stupeň následované opět nefunkčními součástkami, které jsou pouze vizuálními napodobeninami originálů. [1]

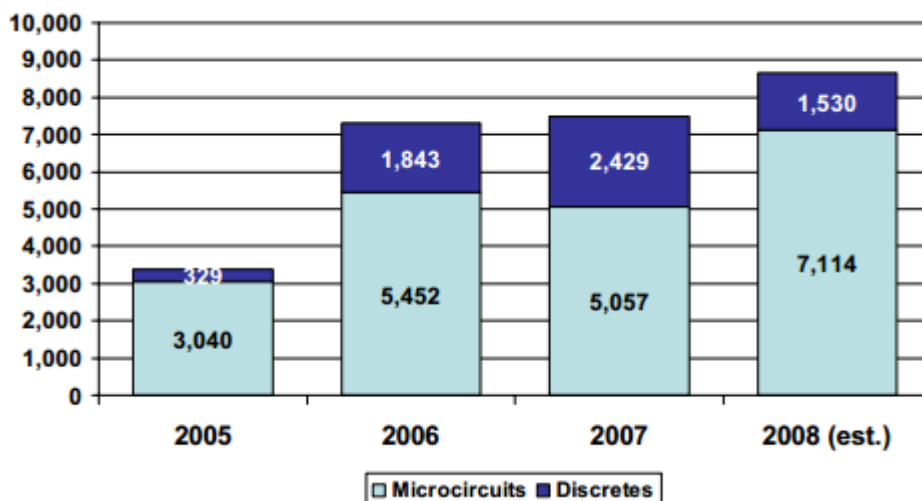


Graf č.4 Způsoby padělení integrovaných obvodů za období 2005 až 2008. [1]

1.3 Nejčastěji padělané elektronické součástky

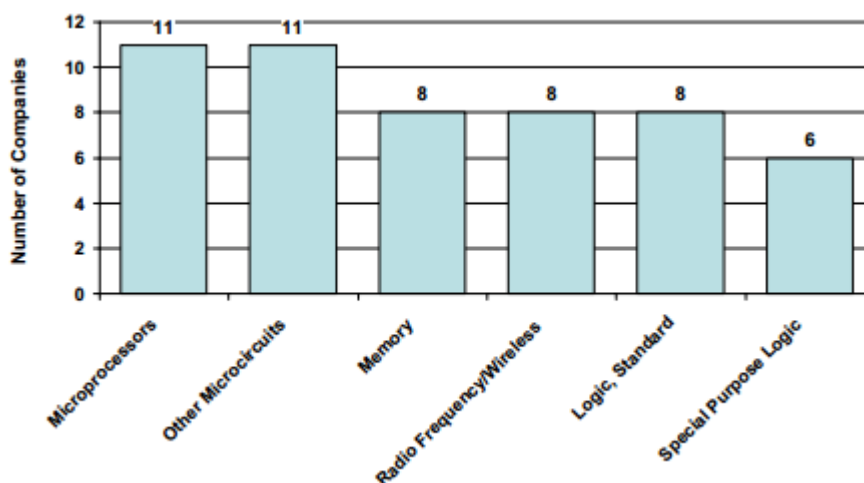
Je zřejmé, že v posledních letech stoupají počty nálezů padělků po celém světě. V roce 2005 bylo dle oficiálních čísel z průzkumu amerického Úřadu pro průmysl a obchod objeveno 3 369 případů a v roce 2008 toto číslo případů vzrostlo na 8 644, což je nárůst

skoro o 257 %. Padělatelé napadli snad každou komoditu elektroniky od jednoduchých diskretních součástek, jako jsou kondenzátory, rezistory, tyristory apod. až po komplexní integrované obvody, jako jsou mikroprocesory. Větší počet případů padělání je ovšem u integrovaných obvodů, což je zřejmé z následujícího grafu. [1], [8]



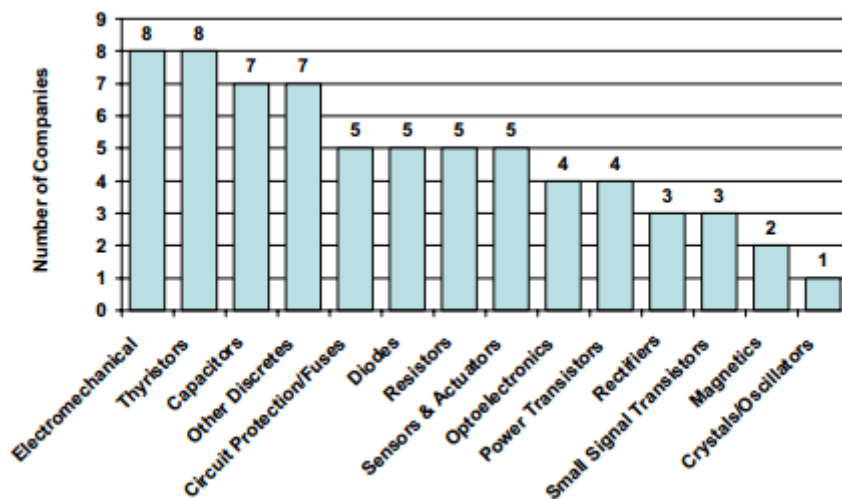
Graf č.5 Celkové počty případů padělání hlášené originálními výrobci v letech 2005 až 2008. [1]

V případě integrovaných obvodů se objevily nepůvodní součástky v šesti kategoriích, nejčastěji jsou pak padělané mikroprocesory. V Graf č.6 Nejčastěji padělané integrované obvody podle typu, jsou uvedené počty nalezených případů padělání jednotlivých modelů součástek, počty kusů pak mohou být od jednoho až do tisíců.



Graf č.6 Nejčastěji padělané integrované obvody podle typu. [1]

U diskretních součástek se nejčastěji padělají elektromechanické součástky s tyristory následované kondenzátory, což je zřejmé z Grafu č.7.



Graf č.7 Nejčastěji padělané diskrétní součástky podle typu součástky.[1]

2 METODY DETEKOVÁNÍ PADĚLANÝCH SOUČÁSTEK

Detekování padělků je nezbytnou součástí pro všechny distributory a výrobce elektronických zařízení. Je pro ně nutné ověřit pravost všech příchozích elektronických součástek tak, aby se zamezilo jejich šíření a proniknutí do součástí výrobků, kdy mohou způsobit nemalé škody. Jak se postupně přichází s novými metodami detekce padělků, také padělatelé své napodobeniny originálních součástek zdokonalují, proto je nutné stále vylepšovat současné metody a zkoumat další možnosti ověřování padělků. Cílem této kapitoly tedy není popsat všechny možnosti detekce padělků, ale přiblížit čtenáři v dnešní době ty nejpoužívanější.

Mnohdy není jednoduché na základě jedné metody určit, zda jde o původní součástku nebo o padělek. Je tedy nutné zvolit správnou metodu nebo kombinaci metod tak, aby byl odhalen určitý konkrétní typ vady dané součástky. Dle charakteru se metody obecně dají rozlišit na destruktivní a nedestruktivní, zda je či není ovlivněna funkčnost součástky. Dále rozlišujeme metody na fyzické a elektrické, podle způsobu porovnání parametrů zkoumané součástky s originální součástkou. [2], [12]

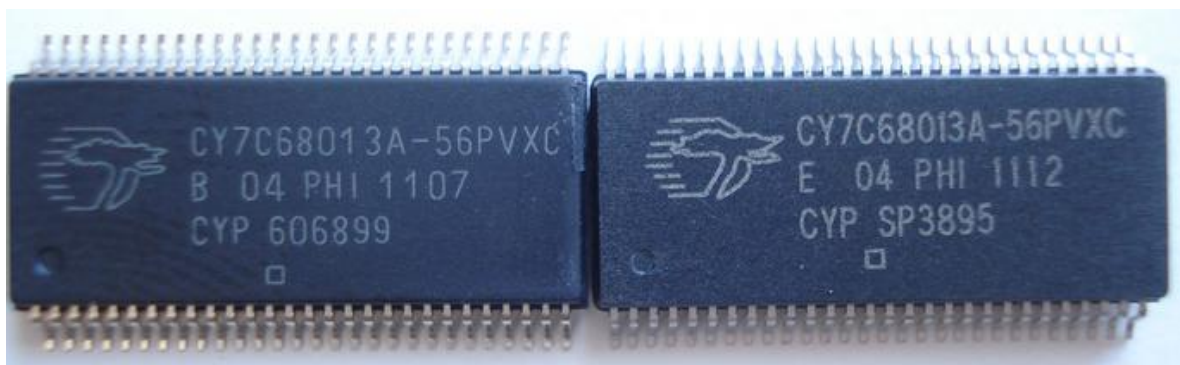
Základním faktorem úspěchu je kontrola balení příchozích elektronických součástek, která nám už samotná může mnohé napovědět. Údaje na příchozích dokumentacích s informacemi na balení a samotných součástkách se musí shodovat. Nesrovnalosti mohou být ve značení součástky, číselném kódu dodávky, datu výroby apod.

2.1 Vnější vizuální kontrola

Vizuální kontrola nám může v případě nedokonalějšího padělku mnohé odhalit a lze ji využít jako prvotní způsob ověření pravosti. Jedná se o nejjednodušší metodu založenou na zjištění nesrovnalostí na povrchu pouzdra a vývodů zkoumané součástky v porovnání s prokazatelně původní součástkou. V mnoha případech se padělatelům nepodaří zcela přesně napodobit vylisovaná značení, písmo nebo texturu originální součástky a tyto nedostatky lze rozpoznat pouhým okem nebo za pomoci mikroskopů. Tato metoda je důležitým nástrojem pro rozeznání padělků, ale s určitostí ji nelze označit jako nejspolehlivější. Nelze vyloučit, že se padělatelům podaří přesně napodobit pouzdro a také nelze určit nesrovnalosti uvnitř pouzdra součástky v případě, že není tato metoda kombinována s jinou vhodnou metodou, která umožní otevření přístupu k samotnému systému na čipu dané zkoumané součástky. [4], [11], [13]

2.1.1 Přeznačení a blacktopping

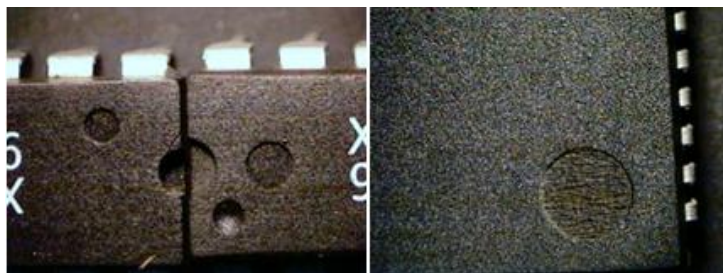
Blacktopping je označení pro proces, při kterém padělatelé nejdříve zbrousí nebo jinak odstraní vrstvu pouzdra s původním označením součástky. Poté je nanesena nová vrstva s co nejpřesnější směsí pro napodobení původního povrchu. Takto upravená součástka je přeznačena jako jiný, výkonnější model. Zde padělatelé často přesně nezvolí správný psací font jednotlivých písmen, nedovedou napodobit logo výrobce apod. K identifikování padělků zhotovených touto metodou se používá aceton, který se natře na podezřelé pouzdro. V případě tohoto druhu padělku je vrstva nazývající se blacktopping po aplikování acetonu odstraněna. [15], [16]



Obr. 1 Původní značení součástky (vlevo) a přeznačená součástka z Asie (vpravo). [14]

2.1.2 Vlysy

Většina pouzder integrovaných obvodů je opatřena vlysy, což jsou dutiny na povrchu pouzdra, které mohou sloužit k orientaci při výrobě nebo například k určení pozice prvního pinu. Tyto vlysy by měly být většinou čisté a hladké. Zde se dopouštějí padělatelé častých chyb, kdy dutiny padělků nemají správný tvar nebo jsou umístěny na jiném místě pouzdra. Často se také stává, že jsou dutiny zanesené nečistotami v případě přeznačení součástky metodou blacktopping. [11]



Obr. 2 Různé vlysy u součástek přijatých v jedné šarži (vlevo) a pokus padělatelů o tvorbu dutiny (vpravo). [11]

2.1.3 Struktura povrchu

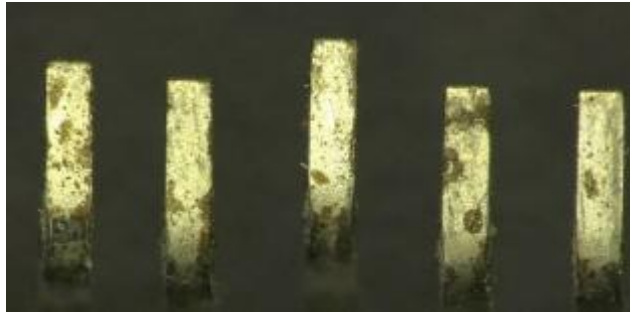
Pouzdra plastových elektronických součástek jsou obvykle vyráběna ze směsi polymerních materiálů a příměsí, jako je např. jemné sklo. Padělatelům se daří tyto směsi věrohodně napodobovat a bez použití mikroskopu jsou k nerozeznání od originálních. Povrch původní součástky má jednodušší strukturu a není tak lesklý jako většina padělaných povrchů. S jinou strukturou povrchu se můžeme setkat u kopie původní součástky, tedy padělateli kompletně vyrobené neoriginální součástky nebo opět u přeznačení pomocí blacktopping. [11]



Obr. 3 Rozdíly ve struktuře povrchu. [11]

2.1.4 Stav vývodů součástky a sledování fyzických rozměrů

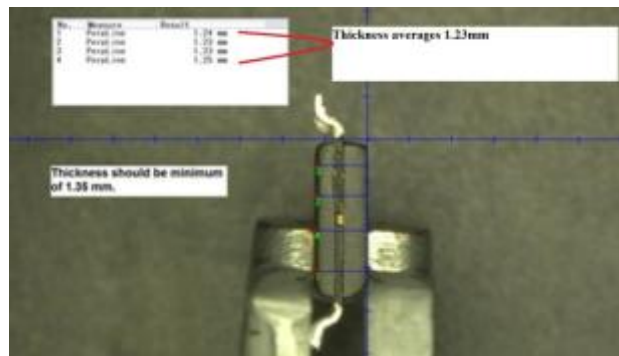
Na stavu vývodů mohou být náznaky, že součástka již byla použita nebo s ní bylo špatně zacházeno. Vývody ze součástky by měly být rovné a jejich rozteč rovnoměrná. Jakékoliv nerovnosti, koroze nebo nečistoty po pájení mohou značit, že součástka není nová nebo byla špatně skladována.



Obr. 4 Vodiče jsou ohnuté a pokování je nerovnoměrné a znečištěné.

[16]

Dalším nástrojem při vizuální kontrole je přezkoumání, zda fyzické rozměry součástky souhlasí s údaji v dokumentaci. K tomuto účelu se využívá mikrometrů nebo jiný nástrojů k měření rozměrů. [16]

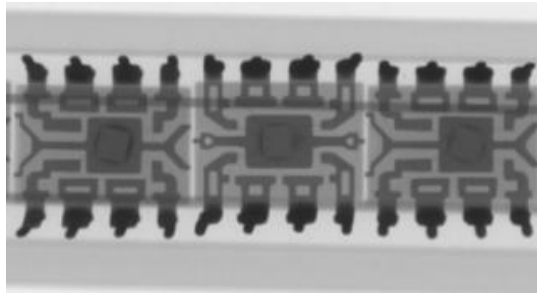


Obr. 5 Přeměření fyzických parametrů podezřelé součástky. [16]

2.2 Vnitřní vizuální kontrola

2.2.1 Rentgenová analýza (X-ray)

Rentgenová analýza poskytuje nedestruktivní prostředek pro zkoumání vnitřních částí součástky, hlavně pájených spojů a vnitřní struktury součástky. V první řadě může být automaticky kontrolováno, zda součástka vůbec obsahuje čip. Dále jsou zejména kontrolovány a určeny rozměry čipu, rozvržení, vedení vnitřních drátků, jejich tloušťka, ohnutí či deformace apod. V reálném čase jsou pořízeny digitální obrázky, podle kterých můžeme spolehlivě identifikovat vady. Tyto informace jsou užitečné, zejména máme-li k dispozici originální součástku pro porovnání. [2], [4], [16]



Obr. 6 Rentgenové odhalení padělků ve stejně značené sérii součástkách. [9]

2.2.2 Akustická mikroskopie (Scanning Acoustic Microscopy)

Skenování pomocí akustické mikroskopie je nedestruktivní metoda, pomocí které odhalujeme anomálie v pouzdrech elektronických součástek.

Piezoelektrický měnič vyzařuje zaostřené ultrazvukové paprsky, které se šíří prostřednictvím kapaliny např. destilované vody ke vzorku a sledují se odezvy (echa) signálu přijaté zevnitř vzorku. Odezvy se použijí k modulaci jasu monitoru a získáme obrazy, tzv. C-skeny. Kvalita zobrazené struktury závisí na použité vlnové délce. Akustické mikroskopy používají frekvenci mezi 100 MHz až 2 GHz. Mechanicky se tedy získají ze snímaného vzorku obrázky a jejich hloubka lze nastavit různými hodnotami zaostření. [18], [19]

Akustická mikroskopie je v porovnání s rentgenovou analýzou méně používaná, zejména z důvodu složitějšího procesu přípravy k samotnému provozu a interpretaci výsledků. Nicméně výhodou je vysoká citlivost na přítomnost trhlin, vzduchových mezer a dutin ve sledovaném vzorku a to i v rádech setin μm , což je velmi obtížné odhalit např. rentgenovou analýzou. [17]



Obr. 7 Zjištění delaminace² ve zkoumaném vzorku pomocí akustické mikroskopie. [17]

²Delaminace: Oddělená místa vzájemně propojených vrstev.

2.2.3 Infračervená termografie (Infrared Thermography)

Infračervená termografie používá infračervené zobrazovací a měřicí kamery k vizualizaci tepelné energie vyzařované z objektu. Infračerveného záření je světlo, které není vidět, protože jeho vlnová délka je příliš dlouhá na to, aby byla rozpoznatelná lidským okem. Vše při teplotě nad absolutní nulou vyzařuje teplo. Čím vyšší je teplota objektu, tím větší je infračervené záření emitované objektem. Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek od 780 nm do 1 mm.

Tato technika může být použita k identifikaci padělaných součástek při srovnání podezřelé součástky s originální. V případě padělku, bude podezřelá a originální součástka produkovat odlišné tepelné snímky. [15]



Obr. 8 Infračervená termografie. [15]

2.3 Analýza materiálů

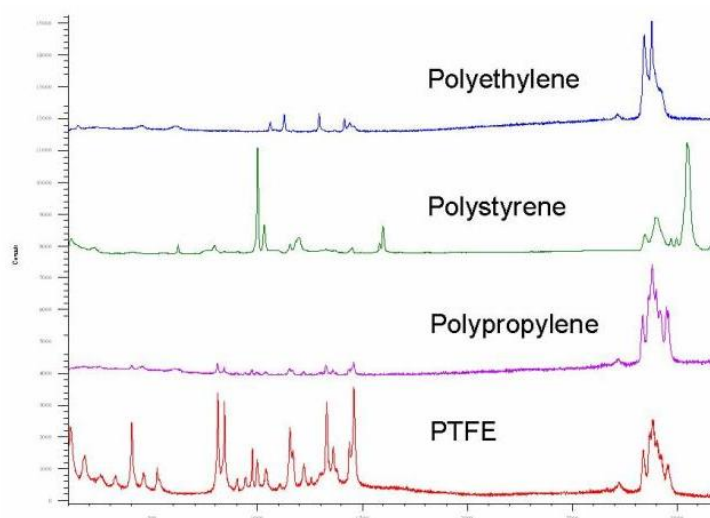
2.3.1 Ramanova spektroskopie

Tato analytická metoda je založena na tzv. Ramanově jevu neboli Ramanově rozptylu, což je jev popsáný indickým fyzikem Ch. V. Ramanem, který společně s K. S. Krišnanem popsali úkaz neelastického optického rozptylu. Základní princip, lze vysvětlit následovně:

"Prochází-li světelný paprsek nějakým prostředím, tak část projde beze změny, určitá část je absorbována a část rozptýlena. Pro lepší představu: světelný paprsek dopadá na molekulu látky. Je-li srážka dokonale pružná, světlo se rozptýlí beze změny vlnové délky paprsku. U srážky nepružné dojde k rozptylu (změně směru šíření světla) a současně se změní i vlnová délka světla. Pokud je dopadající světlo monochromatické, bude ve spektru rozptýleného záření část čar, u nichž dochází k posunu vlnové délky ve srovnání s původní

vlnovou délkou. Detekce a záznam Ramanova rozptylu v závislosti na vlnové délce záření se podařilo až s rozvojem citlivých detektorů a CCD kamer." [27]

Na základě záznamu Ramanova rozptylu lze poté identifikovat jednotlivé látky a určit jejich složení a strukturu. Metoda je vhodná k analýze pevných látek (kovů, polovodičů, polymerů apod.), kapalin, plynů a dále při analýze povrchů (elektrod apod.), nebo také při analýze biologických systémů. Analýza materiálů při Ramanově spektroskopii probíhá nekontaktně a jednotlivé materiály lze rozpoznat i v pouzdru zkoumané součástky, řadí se tedy mezi nedestruktivní metody odhalování padělků. [26]



Obr. 9 Ramanova spektra z běžně používaných polymerů v pouzdrech polovodičových součástek. [28]

2.3.2 Rentgenová fluorescenční spektroskopie (XFR)

Rentgenová fluorescenční spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda sloužící k identifikaci a stanovení prvků přítomných v pevných, práškových a kapalných vzorcích. Je vhodná k určení, zda je zkoumaná součástka vyrobena z originálních materiálů a zda součástka neobsahuje nebezpečné látky zakázané směrnicí RoHS³. [15], [16]

Fluorescenční spektroskopie poté pracuje na následujícím principu: "Na objekt hodnocený fluorescenčním mikroskopem je ze zdroje světla zahrnujícího celou škálu vlnových délek pomocí excitačního filtru propuštěno pouze světlo určité konkrétní vlnové délky λ_{exc}

³ RoHS - Restriction of the use of Hazardous Substances: směrnice vydaná Evropskou komisí zakazující použití nebezpečných látek v elektrických a elektronických výrobcích.

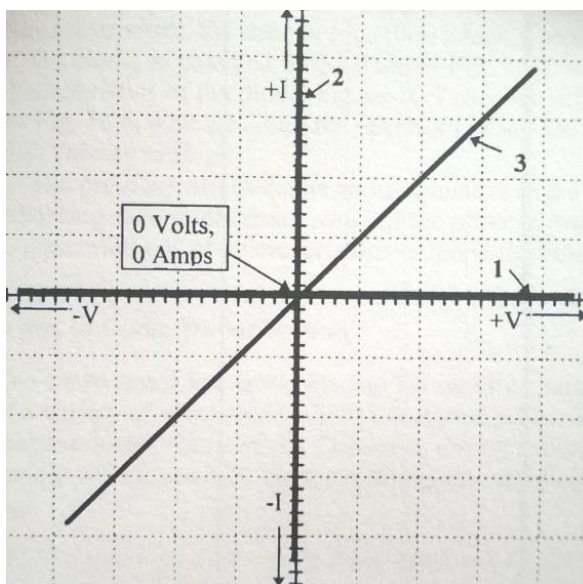
(excitační světlo), které vyvolá jev zvaný fluorescence, dojde k emisi (vyzáření) světla o větší vlnové délce $\lambda_{emit} > \lambda_{excit}$. Pomocí bariérového filtru je pak do oka pozorovatele propuštěno pouze světlo emitované vzorkem (o vlnové délce λ_{emit}).“ [20]

2.4 Elektrické testování

2.4.1 Měření voltampérových charakteristik

Jedná se o nedestruktivní způsob zjištění vad elektronických součástek, jako je vnitřní fyzické poškození způsobené teplem, elektrické přepětí v součástce nebo poškození součástky elektrostatickým výbojem. Pro zjištění vad se využívají detektory padělků elektronických součástek, do kterých se nahrají parametry ověřovaného typu součástky, poté jsou tyto parametry porovnávány s naměřenými parametry zkoumané součástky.

Výsledkem měření je křivka, tedy voltampérová charakteristika, což je grafické znázornění závislosti mezi proudem protékajícím mezi jednotlivými dvěma piny a definovaným napětím. Z voltampérové charakteristiky lze posoudit, zda pouzdro obsahuje odpovídající typ součástky a v rámci jedné dodávky stejné šarže posoudit odchylky jednotlivých exemplářů. Touto metodou měříme pouze vstupní a výstupní obvody na zařízení, ovšem nejsou testovány všechny jeho funkce. [2], [21]



Obr. 10 Voltampérové charakteristiky označující: 1. odpojený kontakt, 2. zkrat, 3. odpor. [2]

2.4.2 Parametrické měření

Parametrické měření je nejspolehlivějším a nejpřesnějším způsobem kontroly pravosti součástky. U této metody se provádí měření skutečných hodnot jednotlivých parametrů testované součástky, které jsou porovnány s hodnotami parametrů uvedených výrobcem v dodacím listu. Pokud dojde k posunutí parametrů součástky z jejich specifických hodnot (např. v důsledku předchozího vystavení čipu vysokým teplotám či v důsledku stárnutí materiálu), je pravděpodobné, že byl čip v pouzdře součástky použit již dříve. Na základě vyhodnocení výsledků z parametrického testu tedy určíme, zda součástka je či není padělaná. Tato metoda je využívána také při sériové výrobě u součástek, u nichž je vyžadována naprostá spolehlivost a bezchybnost. Náročnost měření a vyhodnocování parametrů se samozřejmě liší v závislosti na jednotlivých typech součástek. U diskrétních součástek jsou prováděná měření jednodušší, jelikož je většina součástek prakticky neměnná, naopak náročnější je měření u integrovaných obvodů. [21]

2.5 Otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky (Decapsulation)

Tato destruktivní metoda označována jako tzv. Decapsulation, což je proces odstranění vnějšího materiálu pouzdra tak, aby došlo k odhalení jeho vnitřní struktury součástky, tj. čip a přívodní drátky k vývodům. Toto je další neocenitelný nástroj pro odhalení padělku, protože je možná přímá vizuální kontrola, bohužel ve většině případů vykoupená za cenu zničení dané součástky.

Otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky může být dosaženo různými způsoby v závislosti na druhu použitého materiálu. Mezi nejvyužívanější patří následující tři metody:

Chemické

Chemické otevření přístupu k vnitřní struktuře čipu součástky zahrnuje odleptání horní povrchu pouzdra za pomoci kyselin, např. kyseliny sírové či kyseliny dusičné. Tato metoda je využívána u pouzder z pryskyřice, např. typu PEM.

Mechanické

Mechanické otevření přístupu k vnitřní struktuře čipu součástky nazývané Delidding je proces, při kterém je mechanickým řezáním otevřeno pouzdro součástky tak, abychom měli přímý přístup k neporušenému čipu a přívodním drátkům. Tato metoda se využívá hlavně u součástek s kovovými pouzdry.

Laserové

Tato metoda patří mezi nejnovější techniky odstranění vnějšího pouzdra součástky pro přístup k čipu, viz. *Kapitola 4. Laserové otevření přístupu k vnitřní struktuře součástek*.

Otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky je pouze základem. Jakmile je takto součástka připravena, následuje důkladná vizuální kontrola, ke které je potřeba poměrně velké zvětšení za použití optických mikroskopů pro kontrolu rozložení čipu a přívodních drátků a také značení na polovodičovém čipu. Výhodou je mít pro srovnání autentickou součástku, nicméně pokud není autentická součástka k dispozici, je důležité se zaměřit na určité charakteristické znaky, které by měl čip součástky obsahovat:

- název výrobce nebo jeho logo,
- číselné značení na čipu v souladu se značením na pouzdře součástky,
- kontrolu, zda je uspořádání čipu zkoumané součástky v souladu s autentickou součástkou,
- popřípadě kód používaný daným výrobcem k identifikaci součástky.

Metodu otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky je dobré kombinovat s jinými metodami pro odhalení teplotních a spolehlivostních rozdílů mezi zkoumanou a autentickou součástkou, které nejsme schopni při otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky rozpoznat. [12], [16]

3 POUZDRA POLOVODIČOVÝCH ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

Role pouzder u polovodičových elektronických aplikacích je chránit a zachovat výkon polovodičové součástky od elektrického, mechanického, tepelného a chemického poškození nebo znehodnocení. Tato role se stává stále více podstatnou se zmenšováním rozměrů, zvyšováním výkonu a složitostí u nových generací polovodičových součástek. Pouzdra polovodičových elektronických součástek musejí vykazovat tyto základní funkce:

- zajistit mechanickou odolnost polovodičových součástek,
- zajistit ochranu proti vlhkosti,
- zabránění extrémním výkyvům teplot,
- ochrana před korozí či jinými chemickými vlivy,
- zabránění průchodu nežádoucích elektrických proudů,
- zajistit rozptýlení tepla generovaného polovodičovou součástkou. [4], [29]

Tyto funkce mohou být zajištěny pomocí hermeticky uzavřených nebo nehermeticky uzavřených pouzder. V následujících podkapitolách budou analyzovány tyto druhy pouzder s ohledem na použité materiály a odvod tepla.

3.1 Hermetická pouzdra

Hermetická pouzdra jsou pouzdra, u kterých je polovodičový čip bezpečně uzavřen a tedy oddělen od vnějších chemických látek a plynů. Hermetická pouzdra se využívají u elektronických součástek s požadavkem na vysokou spolehlivost, které pracují v prostředích s velkým působením okolních vlivů. Na výrobu hermetických pouzder se používají keramické nebo kovové materiály. Hlavní odvod tepla ze součástky je přes základnu součástky, jen velmi malé množství tepla je odváděno přes materiál pouzdra součástky.

3.1.1 Keramická pouzdra

Keramická pouzdra jsou dutá tak, aby do nich mohl být vložen polovodičový čip. V dutině a na povrchu čipu jsou vyhotoveny vodivé trasy propojující polovodičový čip s vývody

součástky. Poté je keramické pouzdro hermeticky uzavřeno kovovým víčkem se zlato-cínovou pájkou nebo keramickým víčkem se skleněnou fritou. [24]

Keramické materiály se vyznačují vysokou odolností proti korozi a opotřebením, vysokou tvrdostí, mírnou tepelnou vodivostí a velmi dobrými elektrickými izolačními vlastnostmi. Nejčastěji používaná keramická pouzdra jsou vyráběna z oxidu hlinitého Al_2O_3 s tepelnou vodivostí 25 W/m-K a vyznačují se velmi dobrou elektrickou izolací $1 \times 10^{15} \Omega\text{-cm}$. Provozní teplota bez mechanického zatížení může být 1 000 až 1 500 °C. Ve vysoce výkonných keramických pouzdrech může být na základnu součástky použit materiál s vyšší tepelnou vodivostí, jako je oxid berylia nebo nitridu hliníku s kovovým rámem vyrobeným z Kovaru⁴. [3]

3.1.2 Kovová pouzdra

Základem tohoto nejstaršího způsobu ochrany elektronických součástek je kovová destička, která je opatřena průchody pro vývody z pouzdra sloupkovitého tvaru. Část vývodů nad kovovou destičkou slouží k propojení zlatých nebo hliníkových drátků, které spojují polovodičový obvod uvnitř pouzdra s těmito vývody. Na základnu v podobě kovové destičky je laserovým svářem přivařeno víčko, které bývá nejčastěji z Kovaru.

Kovarová a ocelová pouzdra jsou obvykle používána pro nízkonapěťové aplikace. U vysokonapěťových aplikací se využívají materiály jako měď, wolfram, molybden, stříbro a karbid hliníku a křemíku, a jsou využívána pro základny pouzder.

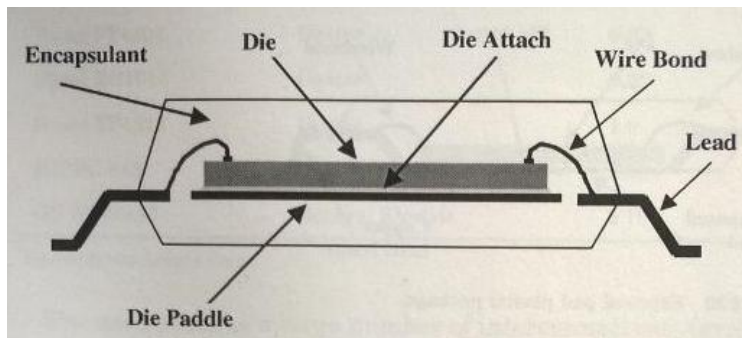
Material	Thermal conductivity @25°C (W/m-K)	Thermal conductivity @100°C (W/m-K)	CTE @25°C (ppm/°C)
Kovar	16.5	17.6	5.5
OFHC copper	401	395	16.5
Glidcop	365		16.6
Alloy 52	14		10.0–10.5
Molybdenum	138		5.35
Aluminum	237	238	23.2

Obr. 11 Tepelné vlastnosti kovů používaných u kovových pouzder. [3]

⁴ Kovar: Směs obsahující z 52% železo, 29% nikl a 18% kobalt.

3.2 Nehermetická pouzdra

Ve většině aplikací jsou integrované obvody zapouzdřeny do tvarovaných plastových pouzder zvaných Plastic Encapsulated Microcircuits (PEMs). Tento způsob zapouzdření je nejběžnější, zároveň jej ovšem nelze použít u součástek, kde se vyžaduje vysoký stupeň spolehlivosti. Pouzdra PEMs jsou používána u typů pouzder SOIC, SOJ, PLCC, BQFP, TQFP a TSOP. Následující obrázek ukazuje obecný průřez PEMs.



Obr. 12 Struktura PEMs. [3]

Teplo, které vzniká uvnitř, je odváděno přes spodní část pouzdra a vývody, a také sekundárně přes materiál pouzdra do ovzduší. Pro zlepšení tepelné vodivosti pouzdra se do materiálů pouzder přidávají sloučeniny jako oxid hlinitý, nitrid hliníku a nitrid bóru. [3]

3.2.1 Materiály plastových pouzder

Plastová pouzdra elektronických součástek jsou vyráběna z polymerních materiálů. Polymery se skládají z makromolekul, což jsou velké molekuly tvořené propojením velkého počtu malých molekul zvaných monomery, které se opakují v celém řetězci. Proces potřebný ke spojení těchto monomerů se nazývá polymerace. Plasty jsou tedy skupinou syntetických polymerů skládajících se z řetězců atomů a molekul. Příkladem může být monomer polyethylenu, což je vlastně ethylen, který se opakuje x-krát v celém svém řetězci. [3], [22]

V závislosti na chemických vazbách v polymeru a jejich vlastnostech, lze polymery rozdělit do tří skupin.

3.2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou za běžných podmínek většinou tvrdé a často mohou být i křehké. Ovšem při zvýšené teplotě se mohou stát plastickými a tvarovatelnými. Tento proces lze provádět opakovaně, jelikož nedochází ke změnám chemické struktury. [22]

Mezi termoplasty řadíme: akryly, fluoropolymery, ketonov pryskyřice, polymerní kapalné krystaly, silony, polyamide-imidy, polyolefiny, polyimidy, polyethermidy, polykarbonáty, vinyly, styreny, polyfenylen sulfidy, polyfenylen oxidy. [3]

3.2.1.2 *Reaktoplasty*

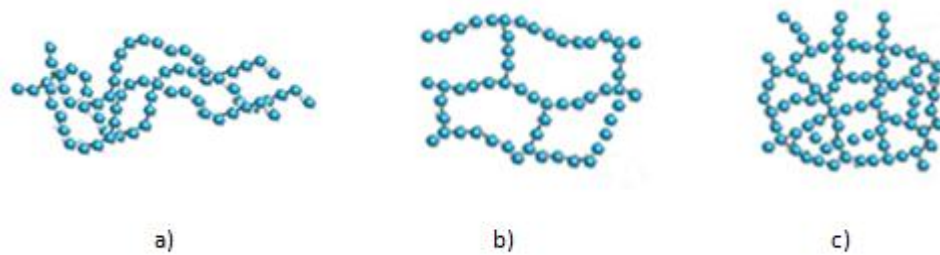
Reaktoplasty, dříve nazývané termosety, v důsledku silně zesíťovaných struktur svých chemických vazeb, jsou vysoce mechanicky a fyzicky odolné v porovnání s termoplasty a elastomery. Na druhou stranu vykazují špatnou pružnost. Při prvotním zahřátí se reaktoplasty stávají plastickými a tvarovatelnými, ale pouze po určitou dobu. Poté dojde k již zmiňovanému zesíťování struktur neboli k vytvrzování. Tento děj je již nevratný. [22], [23]

Mezi reaktoplasty řadíme: allylové pryskyřice, bismaleimidy, epoxidové pryskyřice, fenolové pryskyřice, polyestery, polyuretany, silikony, síťované termoplasty, kyanátová ester pryskyřice. [3]

3.2.1.3 *Elastomery*

Tento druh polymerních materiálů lze za normálních okolností poměrně značně deformovat bez porušení jejich struktury. U elastomerů při zahřívání probíhá chemická reakce tzv. vulkanizace, při které dochází pouze k mírnému zesíťování struktury, viz *Obr. 11 Struktury polymerů*. Proces měknutí a tuhnutí elastomerů lze teoreticky opakovat bez omezení. Pouzdra s elastomerů tedy vykazují značnou pružnost a jsou odolné proti jejich zlomení či prasknutí. [22], [23]

Mezi elastomery řadíme: kaučuk, izoprenová pryž, akryl elastomery, butadien elastomery, epichlorhydrin elastomery, karboxylový elastomery, neopren, chlorsulfonát polyetylen, ethylen-propylen terpolymer, ethylen-propylen kopolymer, fluorovaný elastomer, Butylkaučuk, nitrilový kaučuk, Kopolymery polyvinylchloridové, silikonové elastomery, polysulfidy, polyuretany. [3]



Obr. 13 Struktura polymerů a) termoplastů, b) elastomerů, c) reaktoplastů. [22]

3.2.2 Technologie zpracování polymerů na plastová pouzdra

Tato podkapitola popisuje nejvhodnější metody zpracování daných polymerů pro plastová pouzdra a také uvádí tepelné vlastnosti polymerů. Do konečné podoby pouzdra jsou polymery tvarovány především po zahřátí, což usnadňuje jejich zpracování.

3.2.2.1 Vstříkování

Proces vstříkování lze obecně popsat následovně: "Po přehřátí je pouzdřicí hmota hydraulicky vstříkována do formy, kde její teplota vzroste na teplotu tání materiálu. Pouzdřicí hmota se stává tekutou a je dále pod tlakem dopravována kanálkem, který slouží jako vodící cesta. Tímto kanálkem je hmota dopravena až do dutiny, kde již je připravena sestava složená z mikroelektronického obvodu a souboru vývodů, která je určena k zalisování." [24]. Pouzdřicí hmotou jsou termoplasty nebo práškové reaktoplasty. Po vyplnění se forma dostatečně ochladí, pouzdřicí hmota ztvrdne a forma může být odstraněna.

3.2.2.2 Zalévání

Metoda zalévání se využívá u nízko objemové výroby. Zahřátou směsí z reaktoplastů na požadovanou teplotu je do předem připravené formy zalit umístěný polovodičový čip s vývody či plošný spoj. Mezi reaktoplasty pro zalévání patří pryskyřice zahrnující epoxidy, polyestery, polyuretany, silikony, bismaleimidy a estery kyanátu.

Při výběru pryskyřice pro zalévání je kromě elektrických a mechanických vlastností třeba dbát i na jiné vlastnosti, jako je nízké smrštění při vytvrzení tak, aby nedošlo k poškození obsahu pouzdra. Dále je třeba brát ohled na atributy jako je koeficient tepelné roztažnosti, maximální použitelnou teplotu či přilnavost pryskyřice k vnitřním součástkám, aby se

minimalizovala tvorba trhlinek v pouzdru. Přehled vlastností pryskyřic k pouzdření elektronických součástek je uveden v *Obr. 12*. [3]

Resin	Dielectric properties	Overall adhesion	Shrinkage	Maximum-use temp., °C	Coefficient of thermal expansion	Chemical resistance
Epoxy	Excellent	Excellent	Low	150	Moderate	Good
Bismaleimide	Excellent	Good	Moderate	180	Low	Good
Cyanate ester	Excellent	Excellent	Low	175	Low	Excellent
Polyester	Good	Fair	High	175	Moderate	Poor
Silicone	Excellent	Low	Low	200	High	Good
Silicon-carbon (SYCAR)	Excellent	Good	Low	160	Moderate	Excellent

Obr. 14 Přehled vlastností pryskyřic k pouzdření elektronických součástek. [3]

3.2.2.3 Fluidizace

"Při využití procesu fluidizace k pouzdření mikroelektrických obvodů jsou drobné částice termosetu uvedeny do expandovaného stavu⁵, kdy má hmota relativně nízkou hustotu a umožňuje, aby v ní byl substrát máčen a aby na jeho zahřátém povrchu částice ulpěly. Cyklickým nahříváním a máčením zahřátého substrátu dochází k ulpívání vrstev na jeho povrchu, čímž je celý obvod postupně zapouzdřen do plastické hmoty, která ho chrání před mechanickými, elektrickými a chemickými vlivy." [24]

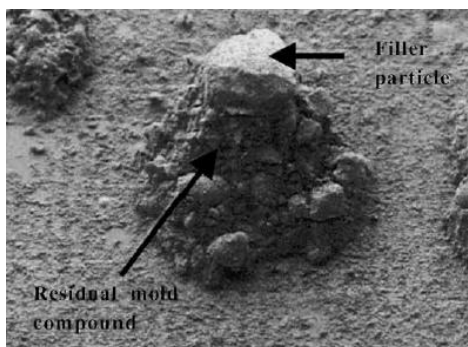
⁵ Expandovaný stav: Částice jsou umístěny v nádobě se dnem s otvory, kterými do nádoby proudí vzduch. Pokud je průtok vzduchu malý, prochází proud vzduchu mezi částicemi a celkově hladinou téměř nepohne. Naopak pokud je proud vzduchu velký, jsou drobné částice vymrštěny z pracovního prostoru. Pokud je proud mezi těmito extrémami, dochází k vzednutí hladiny, která ale nepřesáhne okraj pracovní nádoby.

4 LASEROVÉ OTEVŘENÍ PŘÍSTUPU K VNITŘNÍ STRUKTUŘE SOUČÁSTEK

V průběhu analýzy poruch je často nutné, aby byla přístupná vnitřní struktura součástky odstraněním materiálu pouzdra. K tomuto účelu bylo vyvinuto a optimalizováno několik technik pro přípravu vzorků pomocí chemických nebo mechanických procesů. V současné době se tyto techniky setkávají s určitými limity z důvodů využití nových materiálů pouzder, které mohou být poškozeny použitou kyselinou a také z důvodu zmenšování samotných součástek. Tyto problémy mohou být překonány relativně novou technikou laserového otevření přístupu k vnitřní struktuře součástek.

Při procesu označovaném anglickým názvem Decapsulation, dochází za využití laseru k odstranění hmoty pouzdra součástky v takové míře, aby bylo možné provést jeho vizuální kontrolu, případně jiné kontroly. Při dopadu laserového svazku na materiál pouzdra a jeho následné absorpci dojde k lokálnímu ohřátí malého objemu materiálu na teplotu, kdy se materiál vypaří. Tento jev je označován jako laserová ablace. Při použití této metody je třeba správné nastavení parametrů používaného laseru. Příliš vysoký výkon laserového paprsku může mít za následek tepelné poškození a to zejména tavení vnitřních zlatých vývodů od čipu a také může zapříčinit zničení samotného povrchu polovodičového čipu. Nicméně správným nastavením výkonu laseru lze docílit, aby toto poškození bylo eliminováno na zanedbatelnou míru.

Velmi důležitou vlastností při laserovém ošetření je dosažení minimální drsnosti povrchu po odstranění potřebného množství materiálu pouzdra daného vzorku pro co nejlepší odhalení vnitřní struktury a informací na polovodičovém čipu. Drsnost tohoto povrchu je silně ovlivněna nestejnorodostí materiálu odstraňovaného pouzdra. Nerovnoměrné odstranění pouzdra tedy mají za následek části výplně pouzdra (nečistoty), které absorbují laserový paprsek odlišněji než pryskyřice a může dojít k zakrytí materiálu pod těmito částicemi, viz *Obr. 13*. Ovšem správným nastavením vlastností laserového paprsku lze docílit velmi efektivního snížení tohoto nežádoucího jevu. [25]



Obr. 15 Nerovnoměrné odkrytí pouzdra. [25]

4.1 Nevýhody chemického ošetření oproti laserové ablaci

Laserová ablace se využívá zejména u elektronických součástek zapouzdřených v plastových pouzdech. Obvykle se k otevření přístupu k vnitřní struktuře plastových pouzder využívalo, a stále využívá chemických procesů, nicméně tato metoda je často omezena z důvodu:

- koroze vnitřních vývodů leptáním,
- poškození vnitřních vývodů,
- poleptání pokovení vývodů z pouzdra,
- posunutí umístění polovodičového čipu,
- zničení vnitřní struktury.

Tyto problémy mohou zapříčinit výrazné snížení přesnosti odhalené oblasti pro další ověření pravosti, jako je vnitřní vizuální kontrola. Tato problematika může být řešena nahrazením chemické metody, částečným nebo úplným laserovým ošetřením.

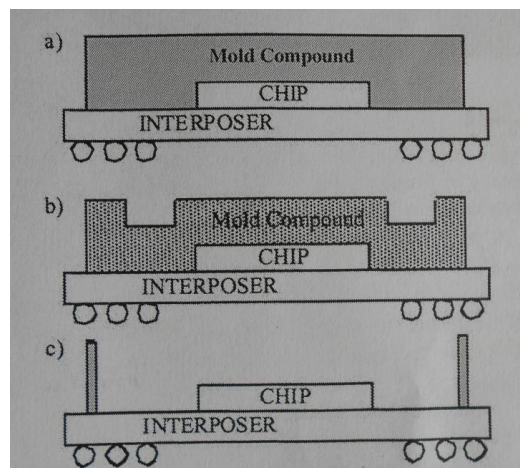
Pro účely testování kvality a spolehlivosti propojení vnitřních vývodů od polovodičového čipu k vývodům z pouzdra je nutné odstranit materiál pouzdra po celé délce včetně spojů. Tohoto je často při použití chemického ošetření vzorku nemožné docílit, protože mnohdy hrozí rozšíření kyseliny na vývody z pouzdra (většinou sloučenina železa a niklu), které jsou extrémně citlivé na poleptání. Ještě kritičtější je použití kyselin na měděné vnitřní vývody. Tyto problémy samozřejmě při použití laseru odpadají. [25]

V případě chemického otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky je obtížné odhadnout dobu pro působení kyseliny a nepoškození povrchu čipu a jeho okolí a také jeho využití pro rovnoměrné odstranění pouzdra či odhalení pouze daného místa.

4.2 Kombinace chemického ošetření a laserové ablace

Chemické otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky je limitováno určitými nevýhodami, jak je popsáno výše. Ovšem nevýhody lze najít i u laserového otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky, u kterého hrozí poškození povrchu čipu. Těmto problémům lze předejít kombinací těchto dvou metod.

Následující postup uvádí M. Krüger a spol. [25] při použití kombinace těchto metod u PBGA pouzdra. Nejprve se laserovým paprskem odstraní několik vrstev pouzdra v oblasti okolo polovodičového čipu do určité hloubky podle umístění čipu v pouzdru v řádech několika stovek mikrometrů. Dostaneme se tedy blíže k polovodičovému čipu a kyselinovzdorné podložce, na které je čip umístěn. Poté se takto upravená součástka ponoří do horké kyseliny sírové. Vzhledem k podobné tloušťce pouzdra dosáhneme povrchu čipu a podložky současně. Doba působení na pokovení vývodů a podložky je snížena na minimum a povrch čipu a podložky nevykazují významnější škody způsobené leptáním. Délku tohoto působení kyseliny je třeba omezit na méně než 30 sekund. Kombinace lokálního laserového odstranění materiálu pouzdra a chemického ošetření nám tedy umožní přímou vizuální kontrolu povrchu čipu či kontrolu spojů vnitřních vývodů. [25]



Obr. 16 Znáznornění kombinace laserového a chemického odstranění materiálu PBGA pouzdra: a) před použitím laseru, b) po použití laseru, c) po chemickém ošetření.[25]

5 VLÁKNOVÝ LASER

Laser je zkratkou Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, tedy zesilování světla stimulovanou emisí záření. Laser se skládá ze tří základních částí, a to aktivního prostředí (optické zesilovače), zdroje energie a rezonátoru (např. soustavy zrcadel). První funkční laser byl zkonstruován a demonstrován v roce 1960 americkým vědcem Theodorem Maimanem. Nedlouho poté byl v roce 1963 navržen i realizován americkým fyzikem Eliasem Snitzerem laser, jehož aktivním, zesilujícím prostředím bylo skleněné vlákno s jádrem dopovaným neodymem. Nyní byl položen základ vláknového laseru, avšak zatímco pevnolátkové lasery se rychle uchytily a začalo se pracovat na jejich vývoji, základy práce Eliase Snitzera byly považovány spíše za laboratorní kuriozitu. To se ovšem změnilo v roce 1980, kdy byl vláknový laser prvně komerčně představen veřejnosti. Tehdy dosahoval výkonu několik desítek mW. V roce 1990 už dosahovaly vláknové lasery výkonu několika wattů a v roce 2000 pak okolo sta wattů. V současné době se výkony pohybují v desítkách kilo wattů a vláknové lasery se stávají nejvýkonnějšími a nejuniverzálnějšími typy laserů. [30], [31], [32]

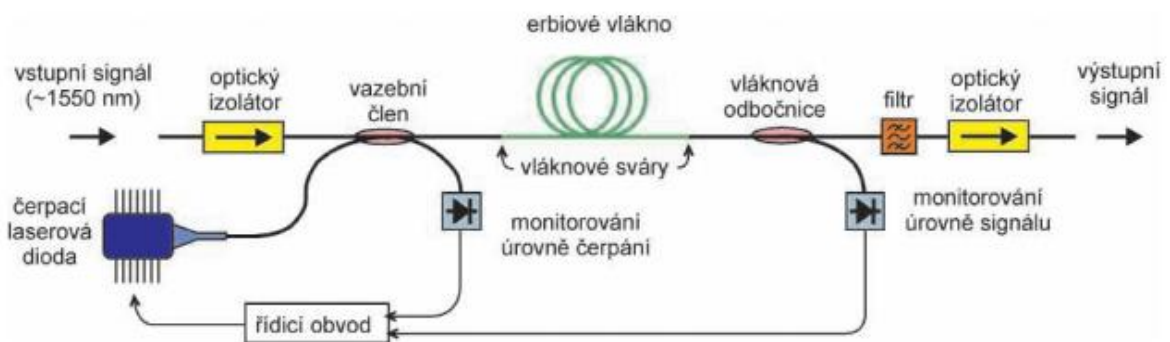
5.1 Princip vláknového laseru

Vláknový laser lze označit jako koherentní optický zesilovač se zpětnou vazbou. Nejdříve proto bude vysvětlena funkce optického zesilovače, tedy aktivního prostředí. Při šíření signálu v optickém materiálu dochází ke ztrátám výkonu v důsledku rozptylu a absorpce světla. Je ho tedy nutné pomocí stimulované emise záření po určité vzdálenosti regenerovat. Optický signál je zesílen pomocí iontů vzácných zemin, jako je Erbium, Praseodymium, Ytterbium, Neodymium nebo Thulium, kterými je optické vlákno dopováno. energii těmto iontům vzácných zemin dodává laserová dioda, což je polovodičová součástka přeměňující elektrickou energii na laserové záření. [30], [33]

Optické zesilovače

Nejvhodnějším optickým zesilovačem je *"vláknový zesilovač EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), který je tvořen vláknem dotovaným ionty Er^{3+} . Tyto ionty mají schopnost pohlcovat záření na vlnové délce 980 nm a generovat záření ve spektru kolem vlnové délky 1550 nm."* [33] Schéma vláknového zesilovače EDFA je na *Obr. 17*. Ve vlnově selektivním vazebním členu před erbiovým vláknem, který zesílí signál až 10 000 krát, se sdružuje světlo pro čerpání se světlem signálu. Vlnově selektivní vláknová odbočnice za

erbiovým vláknem pak vyvazuje případné neabsorbované čerpání. Pásmový filtr slouží k potlačení šumu spontánní emise. Optické izolátory jsou optovláknové součástky, které propouštějí záření pouze jedním směrem, tudíž dojde k odstranění nežádoucích odrazů světla. Zpětná vazba je optoelektronická smyčka řídicí zisk zesilovače a čerpací výkon. [30], [32]



Obr. 17 Schéma vláknového zesilovače EDFA. [32]

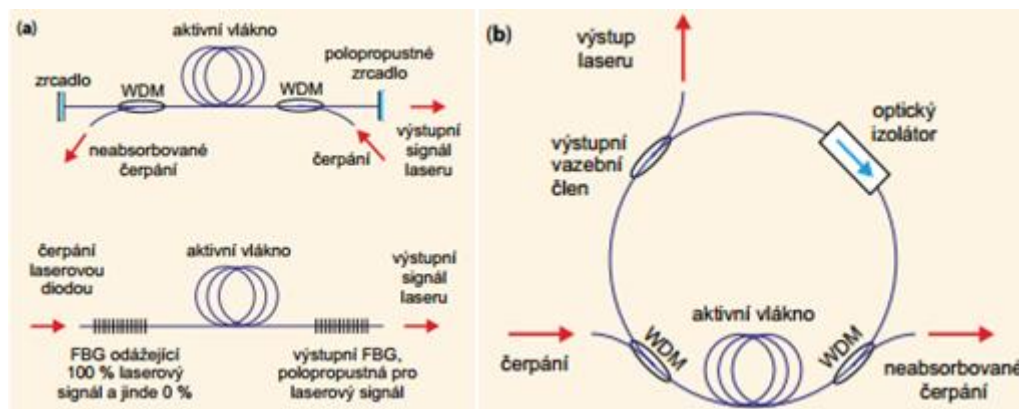
Rezonátory

System zpětné vazby vytvoříme vložením zesilovače do dutiny s pasivním dielektrickým prostředím, která je obklopena odrazovými plochami, tedy vložením do optického rezonátoru. Typickými příklady používaných rezonátorů u vláknových laserů jsou Fabryův-Perotův rezonátor a kruhový rezonátor.

V případě Fabryova-Perotova rezonátoru se jedná o soustavu zrcadel, která jsou k sobě rovnoběžná a mají rovinné odrazové plochy (poloměr křivosti je nekonečný). Jedno ze zrcadel je polopropustné. Právě tímto polopropustným laserem vychází laserové záření při určité vlnové délce signálu, viz *Obr. 18 a) Fabryův-Perotův rezonátor*. Zrcadla mohou být vytvořena z odrazných vrstviček na koncích vlákna. Tyto konce bývají vyrobeny napařením kovové vrstvy či dielektrické odrazové vrstvy na přesně kolmo zalomené čelo vlákna nebo také napařením vláknových braggovských mřížek FBG, neboli Fiber Bragg Grating, na vláknový zesilovač. U technologie FBG je tedy periodická mřížka odrážející světlo s vlnovou délkou, která je v rezonanci s mřížkovou periodou, ale všechny ostatní vlnové délky propouští.

Druhým typicky používaným rezonátorem je kruhový rezonátor, jehož uspořádání je znázorněno na *Obr. 18 b) kruhový rezonátor*, kdy výstupní vazební člen je zařazen do okruhu pro vyvedení optického signálu. Pro zajištění generování laserového signálu pouze

v jednom směru je do kruhového rezonátoru vřazen také optický izolátor. Optický izolátor tedy přispívá ke stabilitě výstupního signálu. [30], [31]



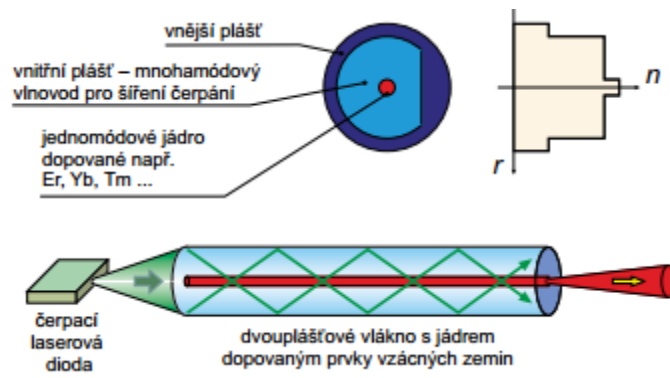
Obr. 18 Uspořádání vláknového laserů: a) Fabryův-Perotův rezonátor, b) kruhový rezonátor. [30]

Zdroj energie

Energie je do optického vlákna čerpána pomocí laserových diod. Je důležité transformovat vysoce rozbíhavý svazek z laserových diod do jednomódového kvalitního laserového svazku s minimální rozbíhavostí. Radikální nárůst výkonu vláknových laserů v posledních letech umožnila zejména metoda čerpání přes plášť, které je znázorněno na Obr. 19. [30]

"Jádro vlákna je dopováno ionty prvků vzácných zemin schopných laserového zesílení. Vnitřní plášť má pak nižší index lomu než jádro, takže jádro slouží jako vlnovod pro signál. Jádro je většinou jednomódové. Vnitřní plášť je též obklopen materiálem s nižším indexem lomu, než má sám, např. polysiloxanovým polymerem nebo akrylátem. Vnitřní plášť tedy slouží také jako vlnovod, a to pro šíření čerpání. Protože vnitřní plášť má relativně velkou plochu průřezu, je možné do něj účinně navázat z čerpacích diod vysoký optický výkon. Jak se čerpací záření šíří podél vlákna, stále znovu křížuje oblast dopovaného jádra a je v něm absorbováno na iontech vzácných zemin. Excitované ionty pak mohou formou stimulované emise předat svou energii zesilovanému signálu." [30]

Pro optická vlákna se nepoužívá kruhový průřez, jelikož je prokázáno, že poté většina paprsků v plášti obíhá kolem jádra a tudíž nedojde k jejímu absorbování v jádře a předání energie aktivnímu prostředí. Jsou tedy používány hranaté, oválné a jiné průřezy vlákna. Vysokého výkonu je také docíleno sloučením záření z několika (mnohomódových) čerpacích diod. [30], [32]



Obr. 19 Princip čerpání aktivního vlákna přes plášť. [30]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZPŘÍSTUPNĚNÍ ČIPU ZAPOUZDŘENÉ SOUČÁSTKY

Praktická část této práce má dva hlavní cíle, prvním je zpřístupnění systému na čipu zapouzdržené součástky a stanovení výsledné receptury a druhým cílem je ověření vlivu tohoto technologického procesu na funkčnost zkoumané součástky.

Zkoumanou součástkou byl zvolen procesor ze série stejné šarže, u které byl předpoklad možné závady. Cílem je tedy ověření pravosti dané série procesorů v daných laboratorních podmínkách pomocí experimentálního odstranění plastového materiálu pouzdra a zpřístupnění neporušeného systému na čipu k vizuální kontrole. K tomuto účel byl použit vláknový laser Crow SE, který je k dispozici v laboratoři pro diagnostiku a analýzu původnosti elektrotechnických součástek ve Vědeckotechnickém parku - Informačních a komunikačních technologií ve Zlíně. Bylo tedy nutné se seznámit s možnostmi a funkcemi tohoto laseru a jeho účinky na plastová pouzdra, navrhnout a ověřit recepturu pro otevření přístupu k vnitřní struktuře zkoumané součástky.

Na závěr této kapitoly jsou všechny výsledky experimentálního návrhu aplikace laseru pro otevření přístupu k vnitřní struktuře součástky vyhodnoceny.

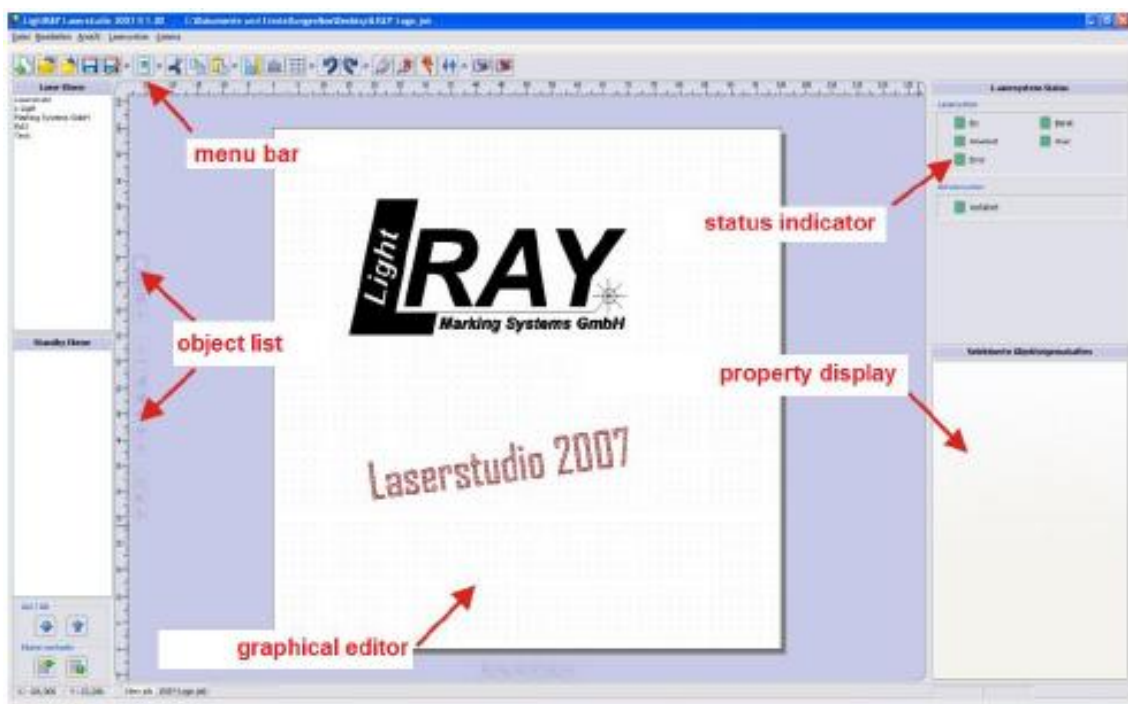
6.1 Instrumentace

K experimentálnímu odstranění materiálu pouzdra pro přístup k čipu zkoumané součástky byl použit vláknový laser Crow SE, který je primárně určen pro značení či popisování předmětů z různých materiálů. Jeho vlastnosti ovšem umožňují jeho využití také pro účel této práce. Samotný vláknový laser je ovládán softwarovou nadstavbou s názvem LightRAY Laserstudio 2012. Crow SE dosahuje maximálního výkonu 10 W s pulzní energií 1mJ. Jádro optického vlákna je dopované ionty Ytterbia s vlnovou délkou 1 060 nm. Před zahájením práce je nutno nastavit polohu osy Z pomocí krokového motoru, který je ovládán softwarem do maximální vzdálenosti 130 mm. Pro seřízení a zaměření osy Z je využívána soustava laserů. K vizualizaci na monitoru dochází prostřednictvím HD kamery umožňující až deseti násobné přiblížení. Pro zahájení pracovního procesu laseru je třeba vždy uzavřít bezpečnostní dvířka, která jsou magneticky blokována po dobu provádění zadaného úkonu. Při samotném procesu je provozní teplota mezi 15 °C až 35 °C a chlazení je zajištěno pouze prostřednictvím vzduchu. Vláknový laser Crow SE je také vybaven integrovaným odsáváním případně vzniklých zplodin při působení laseru na materiál

upravovaného vzorku. Laser Crow SE je napájen ze sítě 230 V a v případě jakýkoliv potíží ho lze vypnout bezpečnostním vypínačem umístěným na přední straně laseru. [5]

6.1.1 Softwarové prostředí pro Crow SE

Program LightRAY Laserstudio 2012 pro ovládání Crow SE běží na operačním systému Windows XP a je v anglickém jazyce. Uživatelské rozhraní je přehledné a uživatelsky přívětivé. Následně tedy bude popsáno rozdělení uživatelského rozhraní a jednotlivé potřebné funkce pro základní ovládání programu. LightRAY Laserstudio 2012 lze rozdělit do několika sekcí:



Obr. 20 Uživatelské rozhraní LightRay. [5]

Menu bar - funkce pro ovládání programu.

Object list - seznam grafických objektů, které jsou aktuálně obsaženy.

Graphical editor - pro tvorbu, okamžitě úpravy a uspořádání grafických objektů.

Status indicator - indikace aktuálního stavu laserového systému.

Property display - pro zobrazení a nastavení vlastností vybraného grafického objektu (velikost, poloha, šrafování apod.).

Menu bar

Je rozděleno do pěti záložek *File*, *Edit*, *View*, *Lasersystem* a *Camera*.

File: lze zde vytvářet soubory s novou prací na laseru, ukládat, vyhledávat a otevírat již uložené práce. Lze také importovat grafické objekty ve vektorové grafice.

Edit: práce s grafickými objekty jako je kopírování, zarovnání, změna měřítka, seskupování grafických objektů do skupin apod. Je zde také umožněno krokování práce zpět a vpřed.

View: umožňuje stejná nastavení jako *Setting Toolbar* a *Zoom Toolbar*, viz. Graphical editor.

Lasersystem: uvádí laser do provozu pomocí *Switch lasersystem on* (popř. klávesa F1) nebo laser vypíná pomocí *Switch lasersystem off* (popř. klávesa F2).

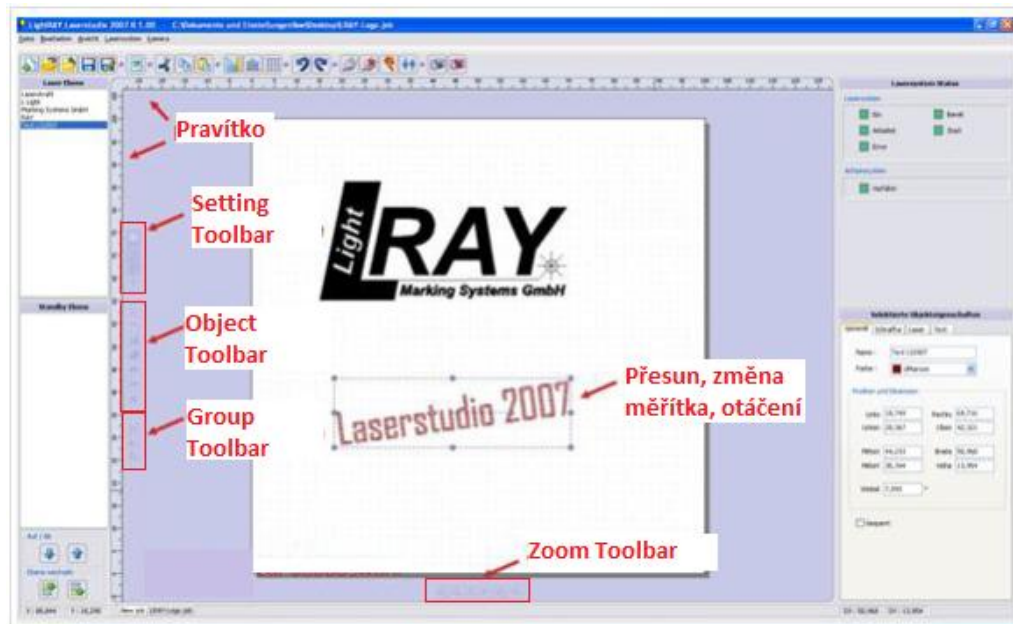
Start marking: po zvolení této položky se spustí laserový systém pro zpracování aktuálně označených úloh (popř. klávesa F3). Pokud není označena žádná úloha, spustí se všechny úlohy vytvořené v grafickém editoru. Obsahuje také položku *Move axis* (popř. klávesa F4) pro nastavení bodu na ose Z, kde bude soustředěn největší výkon laserového paprsku.

Camera: lze změnit nastavení kamery. Dále pomocí *Capture background picture* lze vyfotit na pozadí grafického editoru zpracovávaný předmět v pracovním prostoru laseru k usnadnění rozmístění grafických objektů. Pozadí lze opět odstranit pomocí *Clear background picture*.

Graphical editor

S grafickými objekty pracujeme v *Graphical editor*. Prostřednictvím *Object Toolbar* lze do grafického editoru vložit grafické objekty - čáry, obdélníky, elipsy, texty, 1D čárové kódy, 2D kódy a bitmapové obrazy. Zároveň můžeme pracovat s několika grafickými objekty, mezi kterými lze přepínat v *Object list*. V *Group Toolbar* lze libovolné objekty uzamknout do skupin a pracovat s nimi jako s jedním objektem. Na pozadí lze vyfotit samotný zpracovávaný předmět, který je umístěn v pracovním prostoru laseru, což usnadňuje rozmístění a velikost grafických objektů. Další usnadnění práce s grafickými objekty nalezneme v *Setting Toolbar*, kdy lze aktivovat či deaktivovat zobrazení mřížky (*Grid*), přichytit grafický objekt k mřížce (*Grid Snap*) nebo zobrazit nitkový kříž, který sleduje pohyb myši a ukazuje aktuální polohu na pravítku (*Crosshairs*).

S vytvořeným grafickým objektem jde snadno manipulovat. Po kliknutí na grafický objekt ho lze přesunout, otáčet nebo flexibilně měnit jeho velikost pomocí zobrazených okolních bodů označeného objektu. Pohled na jednotlivé grafické objekty lze ideálně upravit pomocí *Zoom Toolbar*.



Obr. 21 Graphical editor v uživatelském rozhraní Laserstudio. [5]

Property display

Pomocí *Property display* jsou ve čtyřech záložkách nastaveny vlastnosti grafického objektu a parametry, jakými bude laserový paprsek na daný materiál objektu (součástky) působit. Vlastnosti a parametry jsou nastavovány pro jeden grafický objekt nebo pro více typů označených objektů, avšak v tomto případě mohou být zvoleny pouze ty vlastnosti a parametry, které mají zvolené typy grafických objektů společné. Jednotlivé záložky a jejich funkce jsou:

General:

Name - jméno grafického objektu, které se bude zobrazovat v *Object list*.

Color - barvu pro lepší orientaci v grafickém editoru.

Position and Dimensions - umístění, velikost a otočení grafického objektu.

Locked - uzamknout grafický objekt, poté nelze změnit vlastnosti tohoto objektu a nelze s grafickým objektem hýbat v grafickém editoru.

Hatch:

Hatchdistance2 - nastavení vzdálenosti šrafování. Šířka laserového paprsku při zaostření je 0,035 mm.

Hatchangle - nastavení úhlu šrafování.

Hatchindent - nastavení odsazení kraje šrafování.

Meanderhatch- po nastavení se laserový paprsek nevypíná a znova nezapíná pro každý řádek zvlášť, což má u větších značených ploch za následek zkrácení doby značení.

Crosshatch - je druhá vrstva šrafování pootočená o nastavený úhel oproti prvnímu šrafování (jinak je nastaven úhel 90°).

Laser:

Power - výkon, který bude využit při laserovém procesu. Nastavujeme od 0 do 100 %.

Frequency - určuje frekvenci opakování pulsů v Hz. Nastavujeme od 10 kHz do 200 kHz.

Speed - nastavení rychlosti pohybu laserového paprsku v mm/s. Nastavujeme od 1 mm/sec do 10 000 mm/sec.

Outlinecount - nastavení počtu obrysových přeběhů laserového paprsku pro hladší okraje grafického objektu na značeném předmětu.

Hatchcount - počet opakování nastavených přeběhů laserového paprsku.

Specifické vlastnosti jednotlivých grafických objektů:

Nastavení specifických vlastností čár, obdélníků, elips, textů, 1D čárových kódů, 2D kódů a bitmapových obrazů.

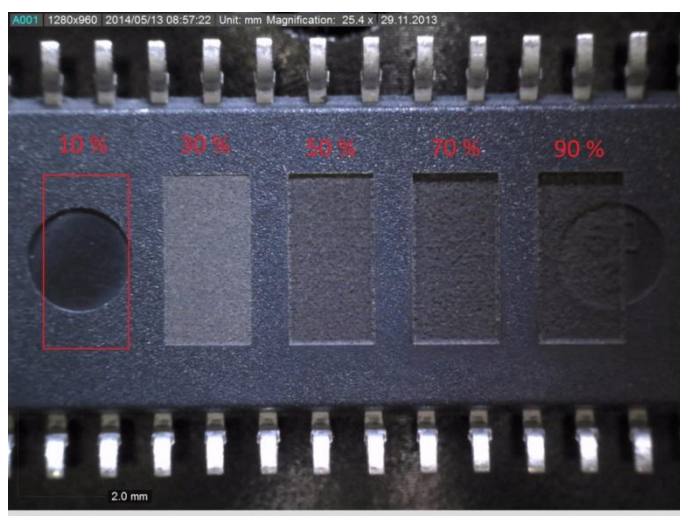
6.2 Zkoumaný vzorek a účinek vláknového laseru na materiál pouzdra

Konkrétním vzorkem pro otevření přístupu k systému na čipu zapouzdřené součástky pomocí vláknového laseru a ověření vlivů tohoto technologického procesu na změny VA charakteristik byla zvolena součástka typu procesor. Procesor je uložený v pouzdře SOIC s 28 vývody a rozměry pouzdra jsou 17,8 mm x 7,3 mm x 2,3 mm. Materiálem pouzdra je epoxidová pryskyřice. Procesor je ze série, kterou byly osazeny moduly, které byly při kontrole označeny jako nefunkční. Je tedy žádoucí zjistit příčinu. Přesné značení součástky a výrobce není možné uvést, aby nedošlo k případnému poškození firmy, což ovšem pro splnění stanovených cílů není podstatné.

Při experimentálním odstranění materiálu pouzdra k otevření přístupu systému na čipu pomocí vláknového laseru Crow SE byly zjištěny jako nejpodstatnější parametry laseru *Power* (Výkon), *Frequency* (Frekvence) a *Speed* (Rychlost). Působení vláknového laseru na materiál pouzdra zkoumaného procesoru při nastavení různých hodnot těchto parametrů je demonstrováno v následujících příkladech:

Power

Výkon laseru byl nastaven v hodnotách 10 %, 30 %, 50 %, 70 % a 90 %. Nastavená frekvence je 20 kHz a rychlost 100 mm/sec.

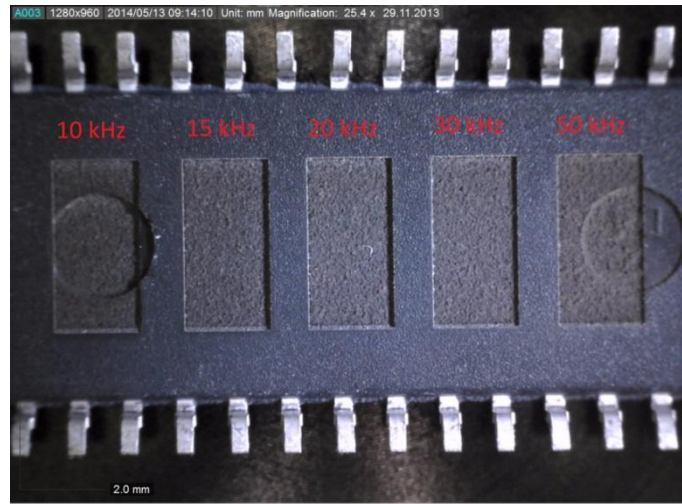


Obr. 22 Vliv použitého výkonu.

Z obrázku vyplývá, že čím je použito vyššího výkonu, tím je laserový paprsek účinnější. Při nízkých výkonech nemusí dojít k odstranění materiálu pouzdra, záleží ovšem také na rychlosti posunu laserového paprsku. Pro docílení co nejmenších nerovností při odstranění materiálu laserem není dobré používat vyšší výkony, viz *Obr. 22*.

Frequency

Frekvence laseru byla nastavena na hodnoty 10 kHz, 15 kHz, 20 kHz, 30 kHz a 50 kHz. Nastavený výkon je 50 % a rychlost 100 mm/sec.

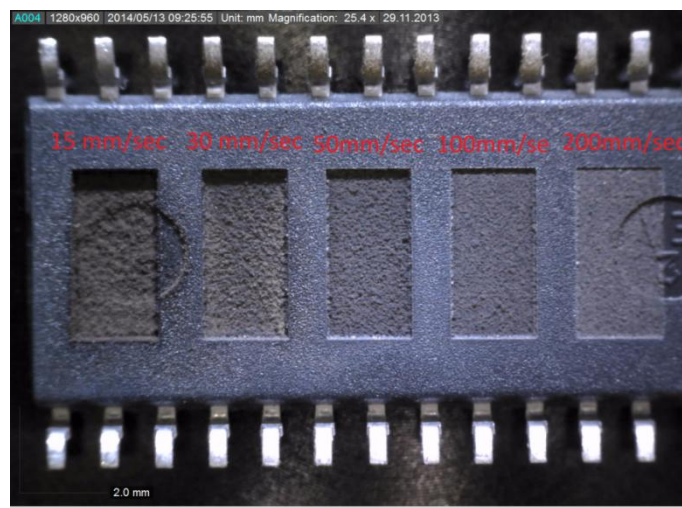


Obr. 23 Vliv použité frekvence.

Frekvence nejméně ovlivňuje hloubku odebíraného materiálu, avšak má vliv na rovnoměrnost odstraněné vrstvy pouzdra. Na zkoumaném pouzdru procesoru se nejlépe jevila hodnota frekvence 10 kHz.

Speed

Rychlost laseru byla nastavena na hodnoty 15 mm/sec, 30 mm/sec, 50 mm/sec, 100 mm/sec a 200 mm/sec. Nastavený výkon je 50 % a frekvence 20 kHz.



Obr. 24 Vliv použité rychlosti laserového paprsku.

Rychlost posuvu laserového paprsku má významný vliv na rovnoměrnost a hloubku odstranění materiálu pouzdra. Při nízkých rychlostech může dojít až k zčernání plastového pouzdra, viz *Obr. 24*.

Pro výslednou recepturu je tedy nutné najít rovnováhu zejména mezi těmito třemi parametry. Dále je nutné zaostřit paprsek na povrch pouzdra součástky a pro rovnoměrné odstranění materiálu je také vhodné zapnout funkci *Crosshatch*, která zajistí odstranění materiálu pouzdra ve dvou směrech vzájemně natočených o nastavený úhel.

Z těchto výsledků a dalších experimentálních zkoušek byly odvozeny hodnoty pro výslednou recepturu odstranění materiálu pouzdra k systému na čipu.

6.3 Výsledná receptura

Výsledná receptura byla sestavena zejména na základě prostudování manuálu *LightRAY Laserstudio 2012*, objasnění teoretických poznatků a experimentálních zkouškách na vláknovém laseru Crow SE. Výslednou recepturu jsem navrhl s ohledem na jednoduché, rychlé a co možná nejsnadnější umožnění přístupu k vnitřní struktuře součástky.

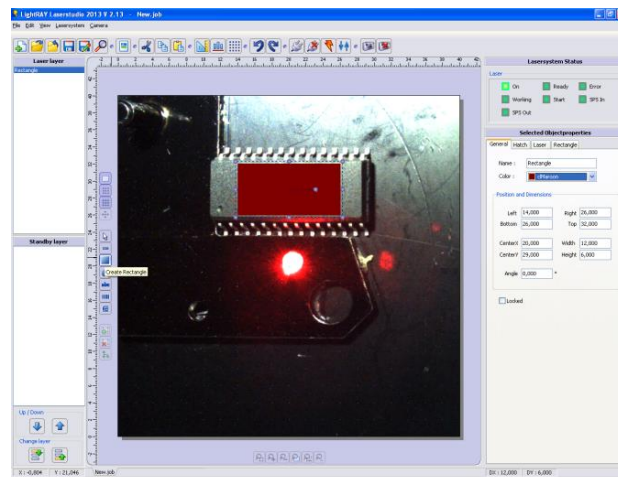
1. Zapneme vláknový laser Crow SE a odsávání případných zplodin. Po zapnutí počítače spustíme program, jenž umožňuje ovládání vláknového laseru a volbu vhodných parametrů.



Obr. 25 Crow SE zapneme otočením klíče do polohy Start (vlevo), odsávání zapneme přepnutím vypínače do polohy I (uprostřed), ikona Laserstudio (vpravo).

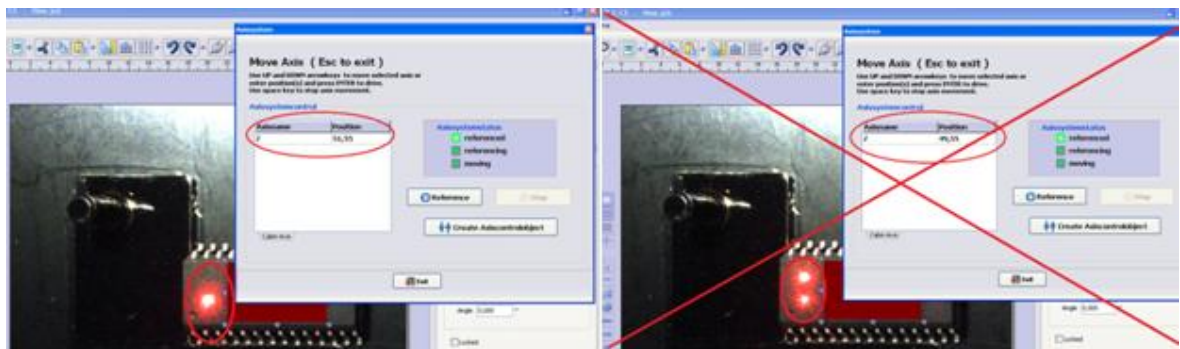
2. Zkoumaný vzorek umístíme do pracovního prostoru laseru a odejmeme kryt z objektivu vláknového laseru. Poté v programu *Laserstudio* zapneme laserový systém *Lasersystem* -> *Switch lasersystem on* nebo klávesou F1.

3. Pro lepší orientaci si na pozadí vyfotíme zkoumaný vzorek pomocí *Camera* -> *Capture background picture* nebo klávesou F5. Poté v nabídce *Object Toolbar* vytvoříme obdélník (*Create Rectangle*) a označíme jím místo vyfocení procesoru, ze kterého budeme chtít odstranit materiál pouzdra.



Obr. 26 Označení místa, ze kterého bude materiál pouzdra odstraněn.

4. Zvolíme vzdálenost osy *Z* v *Lasersystem* -> *Move axis* nebo klávesou F4 tak, aby byl laserový paprsek zaostřen na povrch pouzdra procesoru.



Obr. 27 Nastavení osy *Z*.

5. Parametry jednotlivých kroků zadáváme do *Property Display*. Každý krok dáme provést pomocí *Lasersystem* -> *Start marking* nebo klávesové zkratky F3. Zde můžeme ještě zkontrolovat pozici osy *Z* a označenou oblast pomocí funkcí *Framescan* a *Redlight Mark*. Proces zahájíme zavřením bezpečnostních dveří laseru.

Jednotlivé kroky výsledné receptury jsou následující:

1. krok – rychlé a rovnoměrné odstranění horní vrstvy pouzdra.

V záložce Hatch zadáme hodnoty:

Hatchdistance2 - 0,035 mm

Meanderhatch - zaškrtneme

Crosshatch - zaškrtneme a ponecháme hodnotu 90°

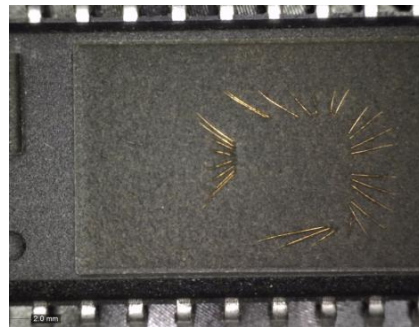
V záložce Laser zadáme hodnoty:

Power - 50 %

Frequency - 10 kHz

Speed - 150 mm/sec

Hatchcount - 3 #



Obr. 28 Stav procesoru po prvním kroku.

2. krok – opatrné odstranění materiálu pouzdra na samotný čip procesoru.

V záložce Hatch zadáme hodnoty:

Hatchdistance2 - 0,035 mm

Meanderhatch - zaškrtneme

Crosshatch - zaškrtneme a ponecháme hodnotu 90°

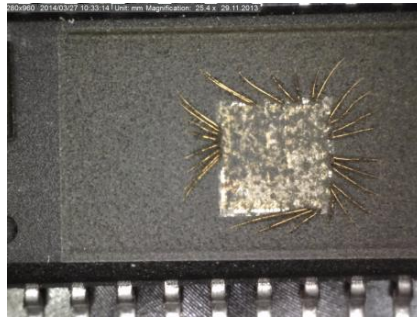
V záložce Laser zadáme hodnoty:

Power - 30 %

Frequency - 10 kHz

Speed - 150 mm/sec

Hatchcount - 2 #



Obr. 29 Stav procesoru po druhém kroku.

3. krok – jemné odstranění zbytků materiálu pouzdra na čipu procesoru a jeho okolí.

V záložce Hatch zadáme hodnoty:

Hatchdistance2 - 0,035 mm

Meanderhatch - zaškrtneme

Crosshatch - zaškrtneme a ponecháme hodnotu 90°

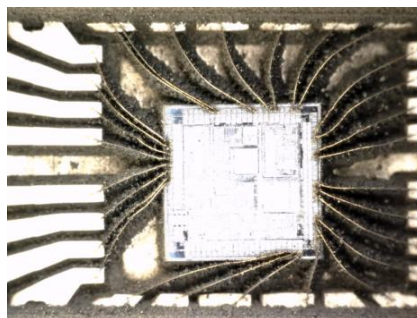
V záložce Laser zadáme hodnoty:

Power - 25 %

Frequency - 10 kHz

Speed - 10 mm/sec

Hatchcount - 4 #



Obr. 30 Stav procesoru po třetím kroku.

4. krok – očištění čipu a jeho okolí od nečistot, které vznikají při odstranění pouzdra a nebyly odsány.

V záložce Hatch zadáme hodnoty:

Hatchdistance2 - 0,035 mm

Meanderhatch - zaškrtneme

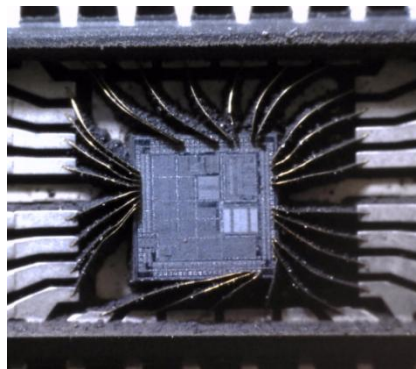
V záložce Laser zadáme hodnoty:

Power - 18 %

Frequency - 10 kHz

Speed - 250 mm/sec

Hatchcount - 2 #

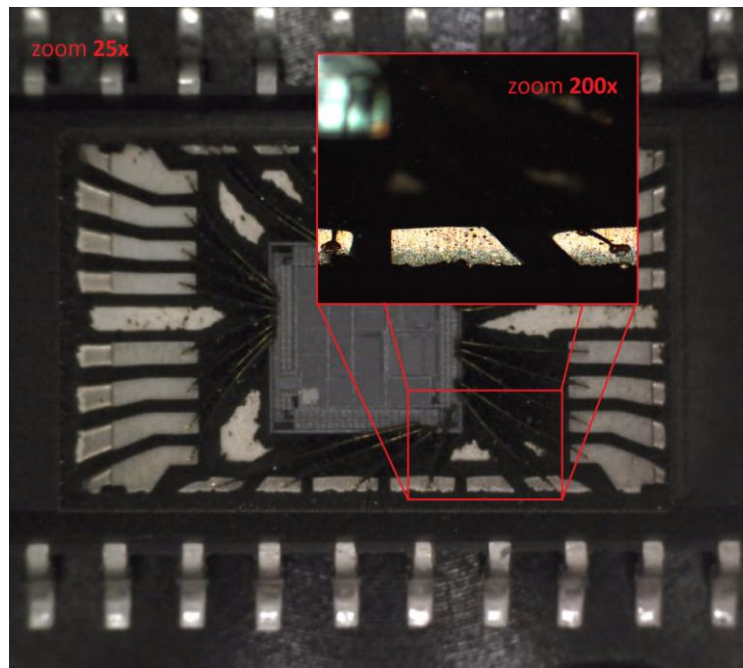


Obr. 31 Stav procesoru po čtvrtém kroku.

6.4 Výsledky a vyhodnocení

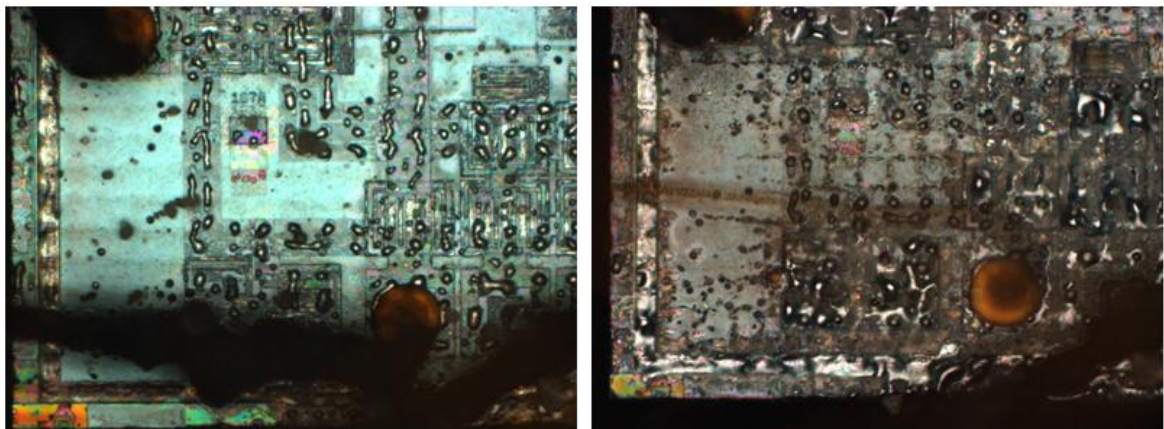
Po aplikaci receptury na zkoumaném procesoru bylo docíleno požadovaného odhalení struktury čipu. Pro posouzení vnitřní struktury a informací z čipu je nutná vizuální kontrola za využití mikroskopu alespoň s dvoustnásobným zvětšením. Nutno podotknout, že požadovaného odhalení čipu můžeme docílit také jiným nastavením parametrů laseru, a to zejména v důsledku ovlivňování a vzájemného propojení působení jednotlivých třech základních parametrů, tedy výkonu laseru, jeho frekvence a rychlosti posunu laserového paprsku. Je ovšem jisté, že jednotlivé hodnoty parametrů se budou v mnohém přibližovat hodnotám navrhnutým ve výsledné receptuře.

Pod mikroskopem je možné zkontrolovat rozložení a správnost umístění zlatých drátků, které propojují vývody součástky s polovodičovým čipem. Je zřejmé, že vývod zkoumaného procesoru č. 9 nebyl propojen s polovodičovým čipem (viz *Obr. 32*), což ovšem původní technická dokumentace k procesoru neuvádí. Tento fakt má samozřejmě vliv na celkovou funkci procesoru.



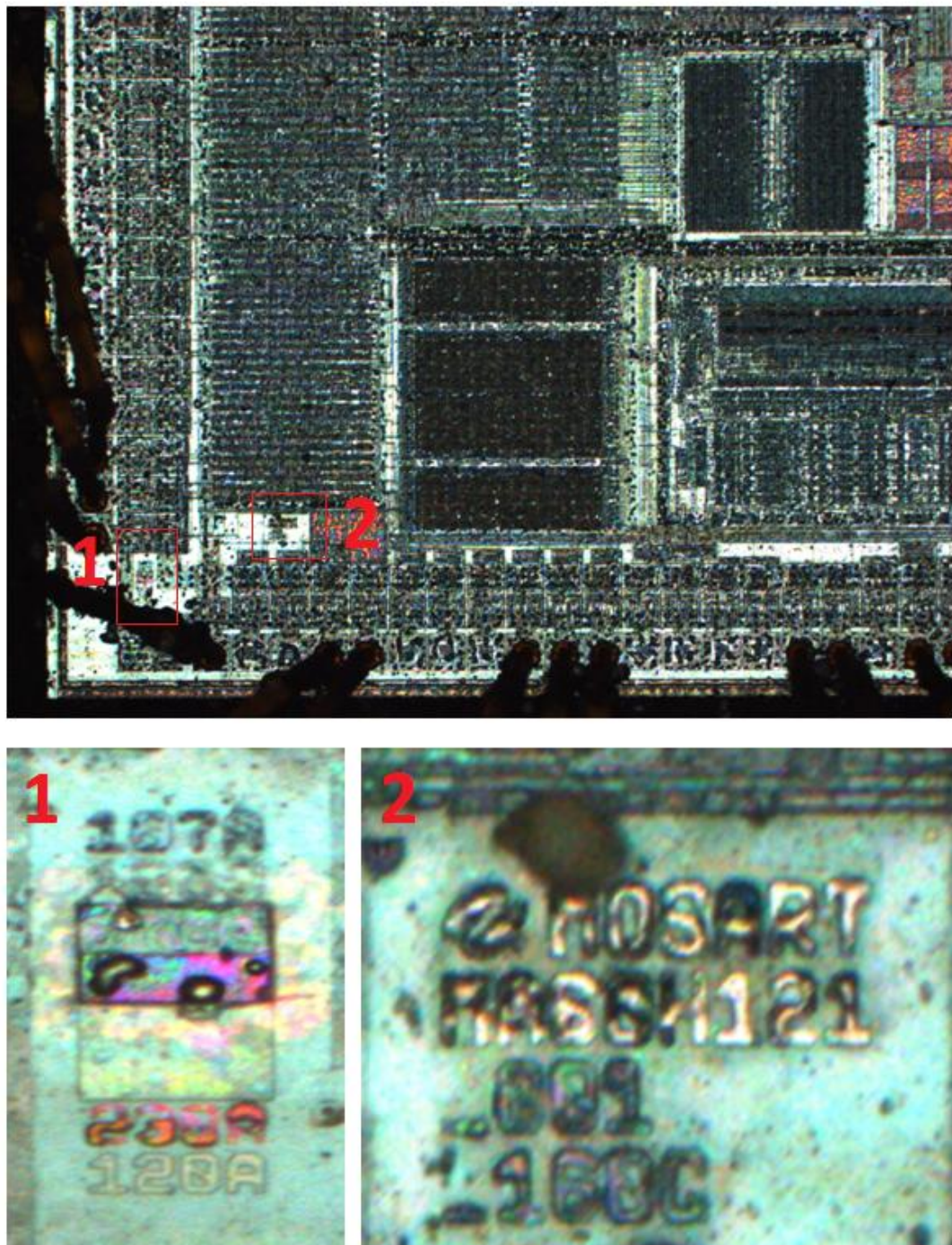
Obr. 32 Chybějící propojení 9 pinu s polovodičovým čipem.

Na čipu lze rozpoznat uspořádání a tvar vnitřní struktury a bylo také dosaženo čitelnosti jeho označení (viz *Obr. 34*). Podle technické dokumentace k dané součástce lze tedy snadno zjistit, zda je uvnitř pouzdra použit požadovaný polovodičový čip. Čitelnosti ovšem částečně mohou bránit zbytky na čipu, které zůstaly po vrstvě, která chrání povrch čipu při zapouzdření součástky (např. nitrid křemíku, Si₃N₄). Tyto zbytky zůstávají na čipu ve formě "kapek", které na povrchu zůstávají i při vyšších výkonech či opakovaném aplikování laserového ošetření. Navíc zde dochází k ničení struktury čipu a jeho označení, jak ukazuje *Obr. 33*. Řešením by mohlo být využití chemického ošetření, viz podkapitola 4.2 *Kombinace chemického ošetření a laserové ablace*.



Obr. 33 Zbytky na čipu (vlevo), zničení struktury a označení čipu (vpravo).

Po posouzení výsledků aplikování vláknového laseru na otevření přístupu k systému na čipu zkoumaného procesu mohou konstatovat, že představuje perspektivní metodu pro identifikaci nedostatků vnitřních struktur čipů součástek v plastových pouzdrech. Hlavní výhodou vidím zejména v rychlosti docílení přístupu k vnitřní struktuře na čipu a možnosti její okamžité kontroly. Celý proces trvá v řádech několika minut.



Obr. 34 Značení na čipu zkoumaného procesoru.

7 OVĚŘENÍ VLIVU TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Druhá kapitola praktické části je zaměřena na ověření vlivu předchozího technologického procesu na funkčnost zkoumaného procesoru. Za tímto účelem byl využit přístroj pro vícekanálové snímání voltampérových charakteristik SENTRY. Jedná se o detektor padělků integrovaných obvodů od firmy ABI Electronics Ltd.

Na závěr kapitoly jsou zjištěné výsledky vyhodnoceny a prodiskutovány.

7.1 Instrumentace

Pro ověření vlivu laserové ablace na funkčnost procesoru byl využit *SENTRY Counterfeit IC Detector*. Tímto detektorem padělků integrovaných obvodů a diskretních součástek byly zkoumány voltampérové charakteristiky před a po odhalení struktury čipu zkoumané součástky.

Tento detektor padělků byl vyvinut firmou ABI Electronics Ltd., je napájen standardně ze sítě 230V, jeho rozměry jsou 27 x 25 x 9 cm a váha 3,5 kg, takže se jedná o malé a snadno přenosné zařízení. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších a správných výsledků, udává výrobce teplotu pracovního prostředí od 10 °C do 30 °C a vlhkost vzduchu v místnosti od 20 % do 80 %. [6], [34]



Obr. 35 SENTRY Counterfeit IC Detector se speciálními adaptéry pro různé typy pouzder. [34]

Základním principem fungování *SENTRY Counterfeit IC Detector* je analýza voltampérových charakteristik získaných testováním zkoumané součástky a jejich porovnání s charakteristikami předem nahranými v databázi, které jsou naměřeny od prokazatelně autentických součástek. Jednotlivé VA charakteristiky jsou získávány měřením hodnot mezi jednotlivými vývody zkoumané součástky, tzv. PinPrint. SENTRY obsahuje hardwarové vybavení pro analýzu charakteristik až z 256 vývodů součástky. Standardně je ovšem SENTRY vybaveno čtyřmi patičkami ZIF (Zero Insertion Force) pro součástky s maximálně 48 vývody, vše lze ovšem rozšířit až na analýzu ze zmiňovaných 256 vývodů pomocí speciálních adaptérů. Do patice ZIF se dají umístit diskrétní součástky nebo integrované obvody s malým stupněm integrace v pouzdrech DIL (Dual In-Line Package). Rozteč jednotlivých vývodů je 2,54 mm, ale vzdálenost vývodů může být i 7,62 mm, 15,24 mm nebo 22,86 mm. Pokud tedy chceme analyzovat součástku v jiných typech pouzder jako QFP, BGA, PLCC či SOIC, tedy pouzder s jinou roztečí vývodů, je nutné použít speciálních adaptérů, které jsou umístěny na patici ZIF. Při vkládání součástky musíme dbát, aby jednotlivé vývody součástky přesně doléhaly ke kontaktům na patici ZIF, případně ke kontaktům adaptéru. Jen tak lze docílit správného a přesného měření. [6], [34]

Pro ověření VA charakteristik je tedy nutné použít adaptér pro integrované obvody v pouzdrech typu SOIC. Tento adaptér umožňuje propojit obvody se šířkou od 3,18 mm do 15,24 mm a analyzovat charakteristiky až mezi 44 vývody, které mají rozteč 1,27 mm. [35]

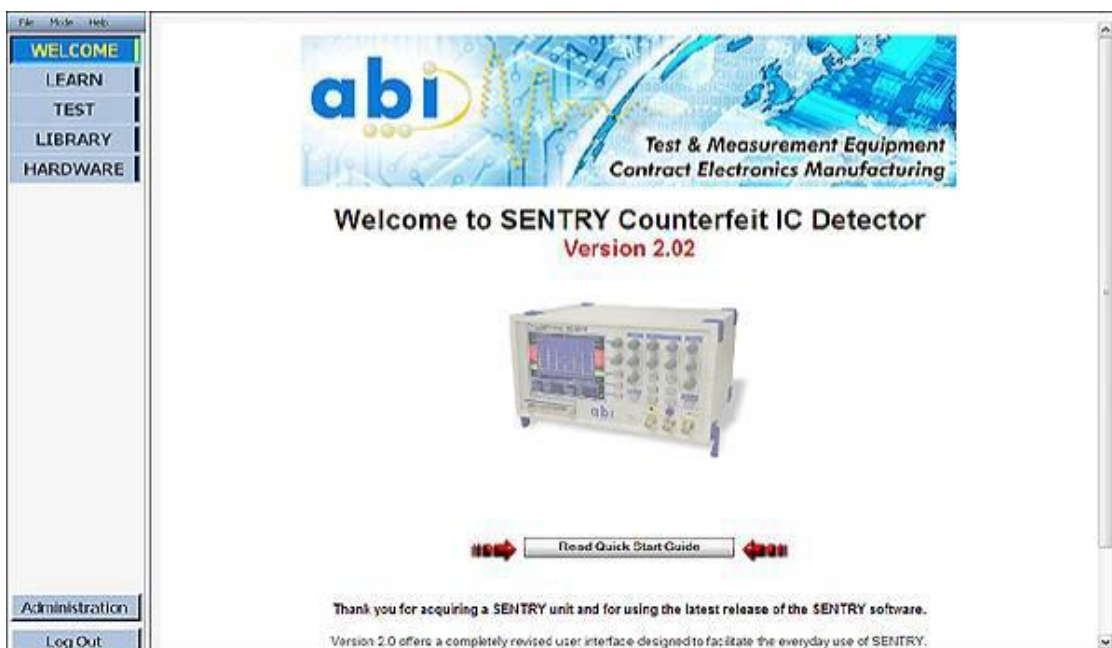


Obr. 36 Univerzální adaptér pro pouzdra typu SOIC. [35]

7.1.1 Softwarové prostředí SENTRY

Software pro SENTRY Counterfeit IC Detector je určený pro operační systém Windows XP nebo Vista s minimálními hardwarovými požadavky 512 MB operační paměti RAM, 200 MB volného místa na pevném disku a rozhraní USB 2.0, prostřednictvím něhož je SENTRY s počítačem propojen.

Po přihlášení do programu se načte úvodní okno programu s jednotlivými volbami na levé straně obrazovky.



Obr. 37 Úvodní obrazovka programu SENTRY.

WELCOME - uvítací obrazovka s nabídnutým manuálem v PDF pro stažení.

LEARN - mód učení: do databáze lze nahrát nové VA charakteristiky autentických součástek.

TEST - mód testování.

LIBRARY - databáze uložených charakteristik autentických součástek.

HARDWARE - kontrola připojení hardwaru.

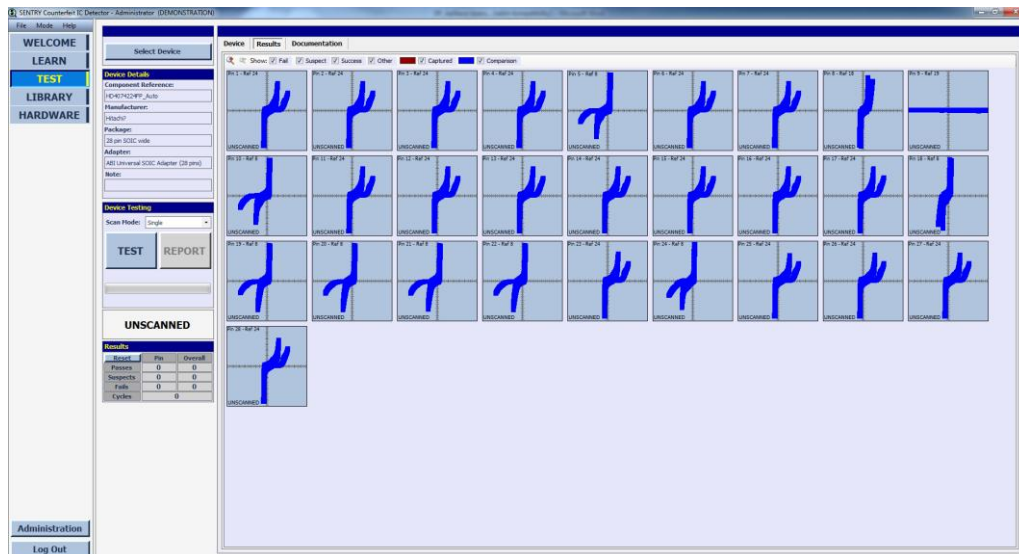
ADMINISTRATION - nastavení míry tolerance před zahájením testování.

LOG OUT - odhlášení z programu.

7.2 Postup při měření VA charakteristik

Po zapnutí *SENTRY Counterfeit IC Detector* tlačítkem na zadní straně spustíme také softwarové prostředí z plochy počítače. Po úvodním vyplnění přihlašovacích údajů se načte úvodní obrazovka softwaru, viz. *Obr. 24* s možností stáhnutí návodu na obsluhu SETNRY ve formátu PDF.

Prvním krokem před zahájením testování je definovat součástku a její parametry, které budeme porovnávat s testovanou součástkou stejného typu. Danou součástku můžeme vybrat z databáze, kde byly již dříve nahrány vlastnosti dané autentické součástky. V takovém případě tak učiníme v záložce LIBRARY. Pokud daný typ součástky není obsažen v databázi, je zapotřebí dané parametry do databáze nahrát prostřednictvím záložky LEARN. Nejdříve je ovšem nutné autentickou součástku vložit do patice ZIF, v našem případě přes univerzální adaptér pro pouzdra typu SOIC. Dbáme na to, aby byla součástka do adaptéru správně vložena (první pin v levém prvním kontaktu) a všechny vývody součástky přiléhaly ke kontaktům adaptéru. Poté v záložce LEARN zvolíme *Learn New Device* (tedy Naučit nové zařízení). Zde je nezbytné vyplnit název, výrobce, typ daného pouzdra součástky a případný typ adaptéru. Nastavíme také *Scan profile* (Skenovací profil), kterým nastavujeme hardware kontrolující elektrické signály aplikované na integrovaný obvod součástky během testu, patří sem nastavení napětí, frekvence, průběhu a zdrojového odporu. Poslední položkou je *Reference* (referenční vývod), kde nastavujeme referenční vývod (obvykle zem), se kterým se provede testování s ostatními vývody. V posledních dvou případech můžeme ponechat nastavení v režimu *AUTOMATIC*, které je doporučeno pro většinu součástek. Nyní jen stačí vše potvrdit, vrátit se zpět a po kliknutí na LEARN bude zahájeno nahrání součástky do databáze. V záložce *Results* se poté zobrazí výsledky tolerančních polí naměřených VA charakteristik jednotlivých vývodů zkoumané součástky s referenčním vývodem. Je možné také připojit krátký popis, obrázek či technickou specifikaci v záložce *Documentation*.

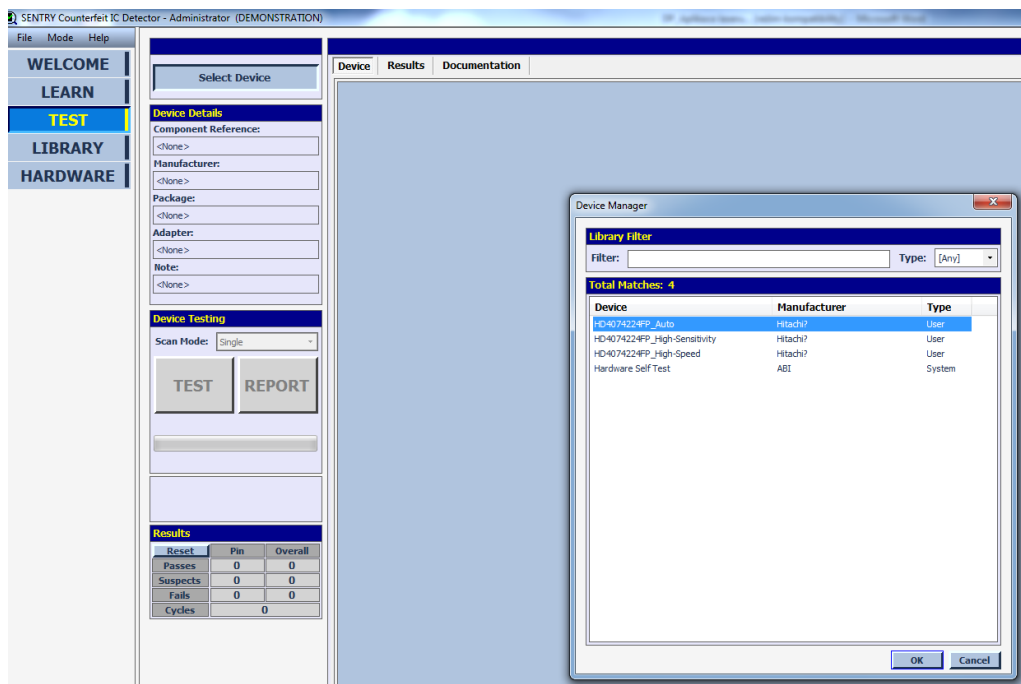


Obr. 38 Toleranční pole VA charakteristik zkoumaného procesoru v záložce Results.

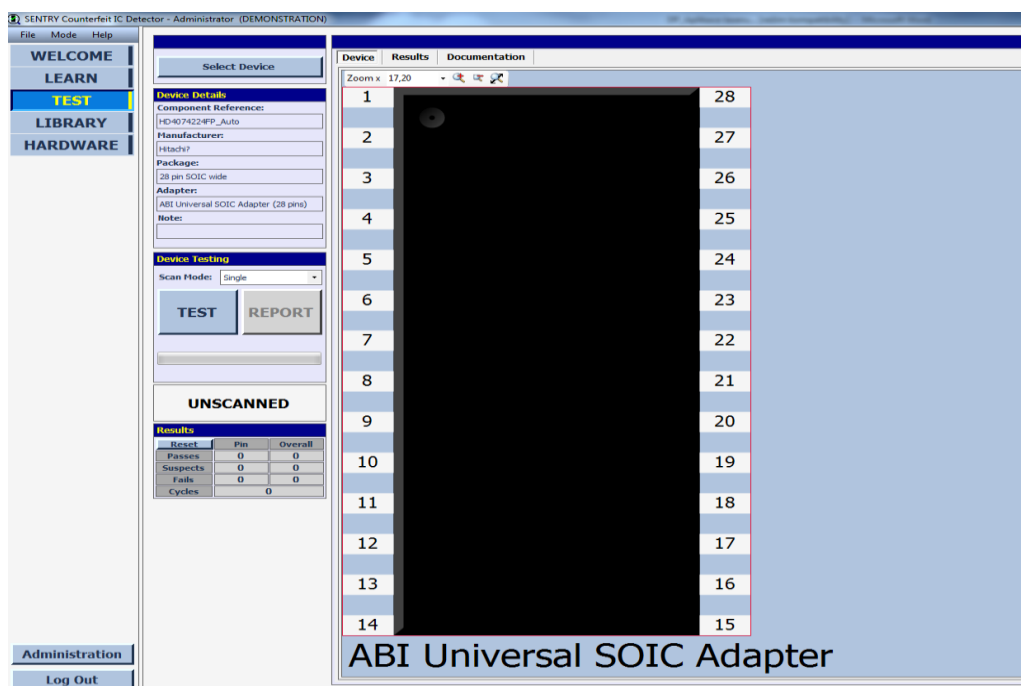
Dalšími možnými nastavení referenčního vývodu jsou režimy *Manual* a *Matrix*, které je vhodné využít v případě, že se po použití režimu *Automatic* vyskytnou pochybnosti o bezchybnosti nebo pravosti zkoumané součástky. Režim *Manual* zadáme v případě hledání určitého problému, kdy sami nastavujeme referenční vývod. Režimem *Matrix* pak zkontrolujeme všechny VA charakteristiky všech možných párů vývodů součástky.

Před zahájením samotného testování zkoumané součástky lze také nastavit míru tolerance měření v záložce ADMINISTRATION. V horní záložce *Comparison* (Porovnání) můžeme nastavovat toleranční pole ve vertikální a horizontální poloze (standardně nastaveno rozmezí 5 %). Dále lze nastavit míru hodnocení, kdy je zkoumaná součástka označena za chybnou (standardně nastaveno 65 % shody s autentickou součástkou) a kdy je zkoumaná součástka označena za podezřelou (standardně nastaveno 90 % shody s autentickou součástkou). Pro naše měření jsou standardně nastavené hodnoty vyhovující a byly tedy ponechány.

Pokud máme takto vše nachystáno pro měření, můžeme přistoupit k samotnému testování v záložce TEST. Pomocí *Select device* vybereme typ součástky z databáze, kterou budeme testovat. V našem případě byla součástka způsobem popsaným výše nahrána do systému pod názvem HD4074224FP_Auto. Po zvolení se nám zobrazí náčrt součástky s popsanými vývody a specifikace součástky. Ještě je nutno zvolit, zda chceme provést jedno měření (*Single*) nebo řadu více měření jdoucích po sobě (*Loop*). Poté již pro samotné zahájení testování klikneme na tlačítko TEST.



Obr. 39 Výběr typu testované součástky v programu pro SENTRY.



Obr. 40 Zobrazený typ součástky, před spuštěním testu.

Po krátkém testování se zobrazí výsledky na nákrese součástky, kdy jsou jednotlivé výsledky měření vyznačeny u příslušných vývodů a je také zobrazeno celkové vyhodnocení pro zkoumanou součástku. Pokud test proběhl úspěšně, je výsledek zeleně "odškrtnut" (*Success*). V případě nevyhovujících podmínek je selhání indikováno

červeným křížkem (*Fail*). Pokud dané měření vykazuje rozdíly v nastavené toleranci, je označeno žlutým otazníkem (*Suspect*).



Obr. 41 Značení výsledků měření na jednotlivých vývodech.

V horní záložce výsledky (*Results*) jsou vykresleny jednotlivé naměřené VA charakteristiky. Ve VA charakteristikách jsou vyznačeny červenými čarami naměřené hodnoty aktuálně vložené součástky a lze vidět, zda se shodují s modře vyznačeným tolerančním polem vzorové součástky.

Po kliknutí na tlačítko REPORT můžeme vygenerovat výstupní zprávu o výsledcích měření v textovém formátu (.txt) nebo webové stránky (.html). Do výsledné zprávy bude zahrnuto specifikace testované součástky, toleranční nastavení, vyhodnocení testování, výsledky na jednotlivých vývodech, VA charakteristiky, znázornění na grafickém nákresu součástky, lze přiložit i potřebné komentáře k výsledkům.

7.3 Výsledky a vyhodnocení

Cílem testování zkoumaného procesoru na detektoru padělků SENTRY bylo zjistit, jaký má technologický proces odstraňování materiálu pouzdra až na samotný čip vliv na funkčnost procesoru. Zkoumaný procesor jsem testoval vždy po jednotlivých krocích výsledné receptury a výsledky testů jsou uvedeny níže.

Na *Obr. 42* jsou výsledky testu zkoumaného procesoru před zahájením aplikace laseru. Výsledky jsou totožné i po odebrání určité vrstvy materiálu, kdy ještě nedosáhneme hloubky, v které se začínají objevovat zlaté drátky propojující vývody procesoru s čipem. V opačném případě začíná docházet ke zkreslení VA charakteristik, viz *Obr. 43*. Na drátcích se nejspíše objevuje koroze způsobená vlivem působení laseru a vzniklé svody zhoršují funkčnost procesoru.

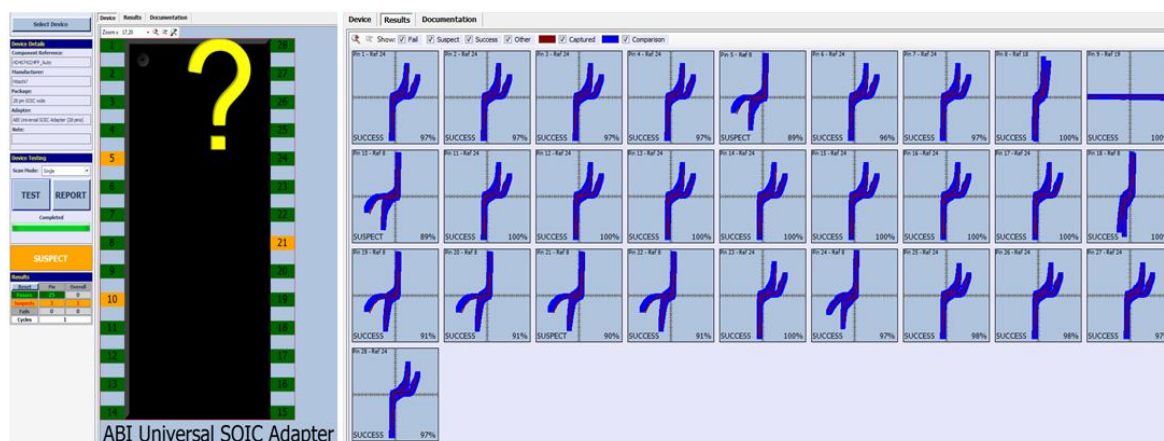
Při dosažení hloubky samotného čipu se bohužel potvrdil předpoklad destruktivních účinků laserového paprsku na polovodičový čip i za předpokladu nastavení minimálních hodnot parametrů vláknového laseru. VA charakteristiky vykazují přerušování jednotlivých vodivých propojení. Ačkoliv vizuálně vypadá struktura čipu jako nedotčená, patrně zde dochází k lokálnímu narušení, což má vliv na výslednou funkčnost.

PIN SUMMARY		
Pin 1: 97% SUCCESS	Pin 2: 97% SUCCESS	Pin 3: 97% SUCCESS
Pin 4: 97% SUCCESS	Pin 5: 89% SUSPECT	Pin 6: 97% SUCCESS
Pin 7: 97% SUCCESS	Pin 8: 100% SUCCESS	Pin 9: 100% SUCCESS
Pin 10: 89% SUSPECT	Pin 11: 100% SUCCESS	Pin 12: 100% SUCCESS
Pin 13: 100% SUCCESS	Pin 14: 100% SUCCESS	Pin 15: 100% SUCCESS
Pin 16: 100% SUCCESS	Pin 17: 100% SUCCESS	Pin 18: 100% SUCCESS
Pin 19: 91% SUCCESS	Pin 20: 91% SUCCESS	Pin 21: 90% SUSPECT
Pin 22: 90% SUSPECT	Pin 23: 100% SUCCESS	Pin 24: 96% SUCCESS
Pin 25: 98% SUCCESS	Pin 26: 98% SUCCESS	Pin 27: 97% SUCCESS
Pin 28: 97% SUCCESS		

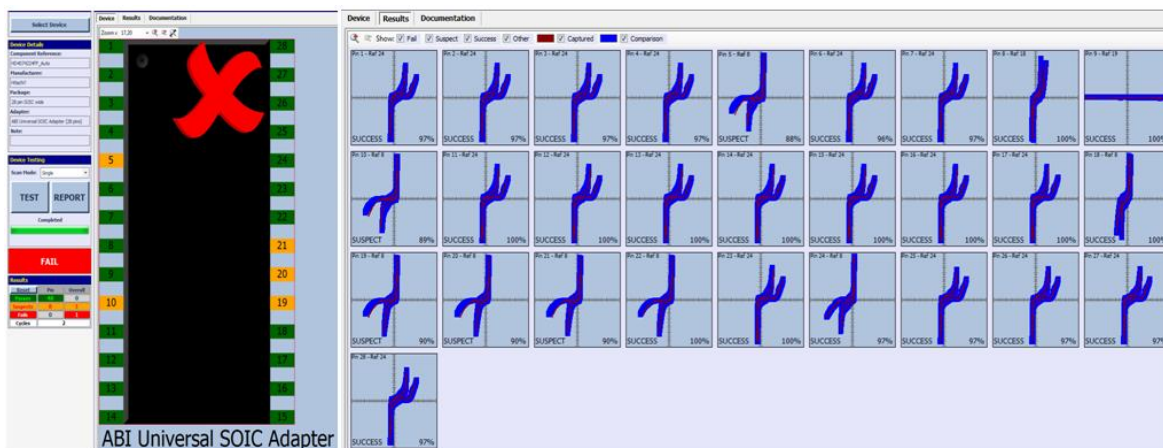
PIN SUMMARY		
Pin 1: 35% FAIL	Pin 2: 35% FAIL	Pin 3: 32% FAIL
Pin 4: 20% FAIL	Pin 5: 34% FAIL	Pin 6: 34% FAIL
Pin 7: 20% FAIL	Pin 8: 27% FAIL	Pin 9: 100% SUCCESS
Pin 10: 21% FAIL	Pin 11: 20% FAIL	Pin 12: 20% FAIL
Pin 13: 19% FAIL	Pin 14: 18% FAIL	Pin 15: 43% FAIL
Pin 16: 38% FAIL	Pin 17: 40% FAIL	Pin 18: 24% FAIL
Pin 19: 38% FAIL	Pin 20: 37% FAIL	Pin 21: 38% FAIL
Pin 22: 28% FAIL	Pin 23: 36% FAIL	Pin 24: 36% FAIL
Pin 25: 34% FAIL	Pin 26: 31% FAIL	Pin 27: 30% FAIL
Pin 28: 33% FAIL		

Obr. 42 Výsledky testu na SETRY před (nahore) a po odhalení struktury čipu zkoumaného procesu (dole).

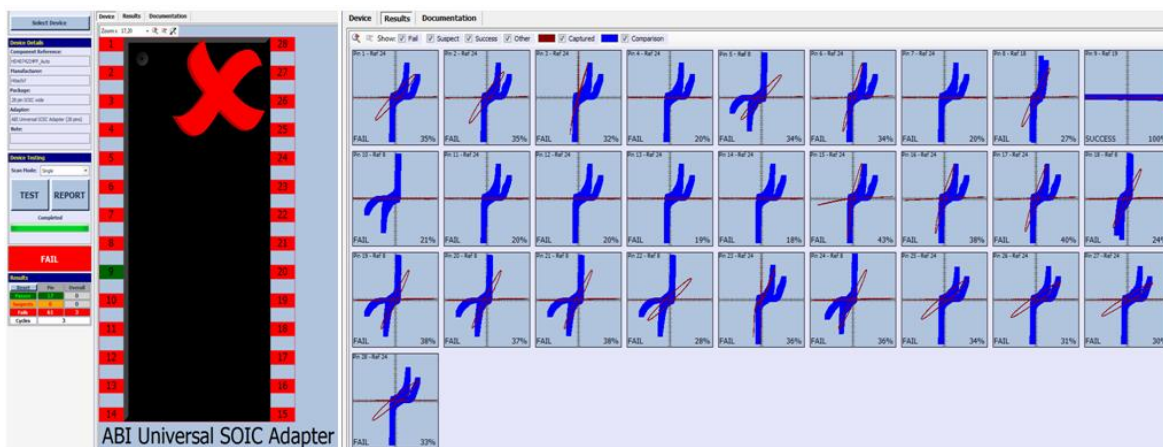
Dle poznatků z odborné literatury by ovšem bylo vhodné odstranění materiálu pouzdra tak, aby byl stále zakryt polovodičový čip součástky jako v případě Obr. 43 Stav procesoru po prvním kroku. Poté by bylo možné chemickým ošetřením lépe odhalit strukturu čipu, viz podkapitola 4.2 *Kombinace chemického ošetření a laserové ablace*. Pro ověření tohoto tvrzení bohužel nejsou na Vědeckotechnickém parku - Informačních a komunikačních technologií ve Zlíně laboratorní podmínky.



Obr. 43 Výsledky testu na SENTRY zkoumaného procesoru.

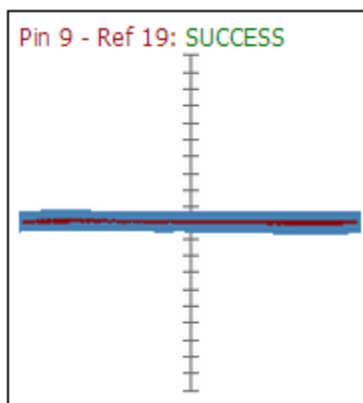


Obr. 44 Výsledky testu na SENTRY po odhalení zlatých drátků.



Obr. 45 Výsledky na SENTRY po odhalení čipu.

Z VA charakteristik je dále zřejmé a jak již bylo potvrzeno vizuální kontrolou odhalené struktury čipu procesoru, že 9. vývod procesu není s obvodem čipu propojen. Viz Obr. 10 a Obr. 42.



Obr. 46 VA charakteristika na 9 vývodu testovaného procesoru.

ZÁVĚR

Po experimentálním ověření stanovených cílů lze konstatovat, že při správném nastavení hodnot laseru je možné touto cestou otevřít přístup k systému na čipu. Důkazem o tom je aplikace vláknového laseru na zkoumaném procesoru podle popsané výsledné receptury. Touto metodou tedy lze ověřit pravost použitého čipu uvnitř pouzdra součástky, zkontrolovat jeho strukturu a propojení s vývody součástky v relativně velmi krátkém čase. Bohužel ani při různých způsobech nastavení hodnot laseru se nepodařilo dokonalé odkrytí čipu. Tento jev jsem osobně neočekával, jelikož některé odborné publikace a studie uváděly kladněji tvářící se výsledky. Důvodem, proč na čipu zůstávaly určité nečistoty ve tvaru kapek, byly materiály používané na ochranu čipu při jeho zapouzdření do epoxidové pryskyřice.

O něco méně překvapující poté pro mě byly výsledky druhého hlavního cíle praktické části a to ověření vlivu tohoto technologického procesu na změny VA charakteristik zkoumaného procesoru. Průběžné kontrolování VA charakteristik po odstranění jednotlivých vrstev materiálu pouzdra na detektoru padělků SENTRY prokázalo, že při dosažení zlatých drátků propojující polovodičový čip s vývody procesoru dochází k deformování těchto charakteristik. Po dosažení úrovně čipu, poté VA charakteristiky vykazují přerušování kontaktu mezi jednotlivými vývody procesoru. K tomuto faktu docházelo i při nastavení co nejcitlivějších hodnot laseru. Narušení čipu není vizuálně patrné, ovšem s největší pravděpodobností k němu dochází v lokálních oblastech a jsou dostatečné k přerušování vodivých cest na čipu procesoru.

Rozbor a diskuze ohledně jednotlivých dílčích výsledků mého praktického výzkumu pro mne byla jednou z nejzajímavějších částí tohoto experimentálního výzkumu, kdy jsem se dozvěděl řadu užitečných informací z odborné literatury, ale také ze strany vedoucího mé práce. Tyto informace mi poté pomohly s řešením a odůvodněním problémů, se kterými jsem se v průběhu práce musel potýkat.

Pokud bych měl tedy stručně shrnout odpovědi na předem stanovené výzkumné otázky, je aplikace laseru pro otevření přístupu k systému na čipu vhodnou metodou pro detekování padělaných a vadných elektronických součástek v pouzdrech z polymerních materiálů, avšak s destruktivními následky. Zároveň je čtenář po přečtení práce zasvěcen do dané problematiky a také seznámen s vláknovým laserem Crow SE, detektorem padělků SENTRY a jejich ovládáním pro vykonání dosažených cílů.

Doporučením pro případné pokračování ve využití a optimalizování této metody otevírání přístupu k systému na čipu součástky je kombinace s chemickým ošetřením, pro které bohužel v současné době nejsou laboratoře na UTB ve Zlíně vybaveny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CRAWFORD, m. 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] NISHI, Y., DOERING, R., *Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology*. Second Edition, CRC Press, 2012.
- [5] Anonym: User Manual LightRay LaserStudio 2012. LightRay Marking Systems GmbH, Winkelhaid, Germany, 2012.
- [6] Anonym: SENTRY Counterfeit IC Detector Operator's manual, Revision 2.10, ABI Electronics Ltd., UK, 2012.
- [7] LOWRY, R. K.: Counterfeit Electronic Components -- An Overview. In: *Oneida Research Services, Inc.* [online]. 2007 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.ors-labs.com/pdf/MASH07CounterfeitDevice.pdf>
- [8] NEUMANN, P., ADAMEK, M., SKOČIK P., Counterfeit Electronic Components Detection Possibilities. *WSEAS Press* [online]. 2011 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Lanzarote/ACMOS/ACMOS-34.pdf>
- [9] SCHOPPE, S., ROBERTSON, G., Screening for Counterfeit Electronic Components. *Process Sciences, Inc* [online]. 2009 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.smtnet.com/library/files/upload/PSI-Counterfeits-Screening.pdf>
- [10] COBBING, M. Toxic Tech: Not in Our Backyard: Uncovering the Hidden Flows of e-Waste. *Greenpeace* [online]. 2008 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/2/not-in-our-backyard.pdf>
- [11] HAMMOND, R. Counterfeit Electronic Component Detection. *American Electronic Resource, Inc.* [online]. 2013 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.aeri.com/counterfeit-electronic-component-detection/>

- [12] GUIN, U. Counterfeit IC Detection and Challenges Ahead. *University of Connecticut* [online]. 2013 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.engr.uconn.edu/~tehrani/publications/ACM-SIGDA-2013.pdf>
- [13] Counterfeit Testing Methodology: Minimizing Costs While Minimizing Risks. *DfR Solutions* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.dfrsolutions.com/white-papers/counterfeit-testing-methodology-minimizing-costs-while-minimizing-risks/>
- [14] GARRISON, J. Counterfeit parts are a big headache. *Saleae* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://blog.saleae.com/counterfeit-parts-are-a-big-headache/>
- [15] CASWELL, G. Counterfeit Detection Strategies: When to Do It / How to Do It. *DfR Solutions* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.dfrsolutions.com/pdfs/IMAPScounterfeit.pdf>
- [16] HEWETT, H. W. METHODS USED IN THE DETECTION OF COUNTERFEIT ELECTRONIC COMPONENTS. *Electro-Comp Services, Inc* [online]. 2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: http://www.ipcoutcome.org/pdf/methods_detection_counterfeit_components_smta.pdf
- [17] ANONYM. Scanning Acoustic Microscopy - SAM. *INSIDIX* [online]. 2011 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.insidix.com/Scanning-Acoustic-Microscopy-SAM.28.0.html>
- [18] ANONYM. Acoustic Microscopy. In: *SOEST* [online]. 2012 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.soest.hawaii.edu/HIGP/Faculty/zinin/Zi-SAM.html>
- [19] ANONYM. SAM Functional principle (Scanning Acoustic Microscope). In: *KSI GmbH* [online]. 2014 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.ksi-germany.de/acousticmicroscopy-en/technology-transducer.php?PHPSESSID=c4da0fd4cc8e4b7f51a72b52d69aafd0>
- [20] ANONYM. Fluorescenční mikroskop s obrazovou analýzou: Princip fluorescenčního mikroskopu a dalších optických přístrojů využívajících fluorescence světla. *Chembiolupol* [online]. 2013 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://www.chembiolupol.cz/data/xinha/31_pdfsam_vyuziti_mikroskopie_cenklova_2013.pdf

- [21] UNITES SYSTEMS A.S. Parametrické měření. *Odhalování padělků elektronických součástek* [online]. 2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.odhalovani-padelku-soucastek.cz/index.php/parametricke-mereni>
- [22] ANONYM. Polymer - definition and classification of polymers. *AdhesiveandGlue* [online]. 2012 - 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.adhesiveandglue.com/thermoset.html>
- [23] TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC, Katedra strojírenské technologie. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti: Rozdělení plastů. *Ksp.tul.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [24] PULEC, J. *Analýza vlivu pouzdření na izolační vlastnosti*. Brno, 2008. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12205/diplprace2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. VUT v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Szendiuch, I.
- [25] KRÜGER, M., J. KRINKE, K. RITTER, B. ZIERLE a M. WEBER. Laser-assisted decapsulation of plastic-encapsulated devices. *Microelectronics Reliability* [online]. 2003, vol. 43, 9-11, s. 1827-1831 [cit. 2014-04-24]. DOI: 10.1016/S0026-2714(03)00311-1. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026271403003111>
- [26] DENDISOVÁ, M., P. ŽVÁTORA a P. MATĚJKA. RAMANOVA SPEKTROMETRIE. *VŠCHT* [online]. 2009-2013 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach2/RAMAN.pdf>
- [27] ŘEPKA, M. Nové trendy v Ramanově spektrometrii. *Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/nove-trendy-v-ramanove-spektrometrii>
- [28] SCHAMP, T. Materials Analysis with Raman Spectroscopy. *Cerium Labs* [online]. 2007 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.ceriumlabs.com/74/October_08_Newsletter.htm
- [29] SCHULTZ, N. Potting and Encapsulating Electronic Components: Component Protection. *Sealant Equipment & Engineering* [online]. 2013 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sealantequipment.com/technical/potting-electronics.htm>

- [30] PETERKA, P., P. HONZÁTKO a M. KARÁSEK. Vláknové lasery – jasné světlo ze skleněných nitek. *Ústav fotoniky a elektroniky AVČR* [online]. 2013 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.ufe.cz/sites/default/files/aktuality/10_peterka_cescasfyz_50_let_laseru-vlaknove_lasery.pdf
- [31] ANONYM. Laser i-learning: PRINCIP VLAKNOVÉHO - FIBER LASERU. *Leonardo technology s.r.o.* [online]. 2005 - 2013 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/cs/znaceni-laserem-solaris/lasery-info-learning?start=2>
- [32] PETERKA, P. Vláknové lasery dobývají svět. *Ústav fotoniky a elektroniky AVČR* [online]. 2013 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.ufe.cz/sites/default/files/Media/12_peterka_21_stoleti-panorama.pdf
- [33] LUCKI, M. Optické zesilovače. In: *Inovace předmětů a studijních materiálů pro e-learningovou výuku v prezenční a kombinované formě studia* [online]. Praha, 2012 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/162.pdf
- [34] ANONYM. SENTRY Counterfeit IC Detector. *ABI Electronics Limited* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.abielectronics.co.uk/Products/SENTRYCounterfeitICDetector.php>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CCD	Charge-Coupled Device (zařízení s vázanými náboji)
BGA	Ball Grid Array
BQFP	Bumpered Quad Flat Package
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FBG	Fiber Bragg Grating
Hz	Hertz (jednotka frekvence)
MB	Megabajt (jednotka množství dat)
mm	Milimetr (jednotka délky)
nm	Nanometr (jednotka délky)
PBGA	Plastic Ball Grid Array
PDF	Přenosný formát dokumentů (Portable Document Format)
PEMs	Plastic Encapsulated Microcircuits
PLCC	Plastic Leaded Chip Carrier
RAM	Paměť s přímým přístupem (Random Access Memory)
RoHS	Restriction of the use of Hazardous Substances
SOIC	Small Outline Integrated Circuit
SOJ	Small Outline J-lead
TQFP	Thin Quad Flat Pack
TSOP	Thin Small Outline Package
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
UTB	Univerzita Tomáše Bati
VA	Voltampér
ZIF	Zero Insertion Force
λ	Vlnová délka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Původní značení součástky (vlevo) a přeznačená součástka z Asie (vpravo). [14].....</i>	20
<i>Obr. 2 Různé vlysy u součástek přijatých v jedné šarži (vlevo) a pokus padělatelů o tvorbu dutiny (vpravo). [11].....</i>	21
<i>Obr. 3 Rozdíly ve struktuře povrchu. [11].....</i>	21
<i>Obr. 4 Vodiče jsou ohnuté a pokování je nerovnoměrné a znečištěné. [16]</i>	22
<i>Obr. 5 Přeměření fyzických parametrů podezřelé součástky. [16]</i>	22
<i>Obr. 6 Rentgenové odhalení padělku ve stejně značené sérii součástkách. [9]</i>	23
<i>Obr. 7 Zjištění delaminace² ve zkoumaném vzorku pomocí akustické mikroskopie. [17].....</i>	23
<i>Obr. 8 Infračervená termografie. [15]</i>	24
<i>Obr. 9 Ramanova spektra z běžně používaných polymerů v pouzdrech polovodičových součástek. [28]</i>	25
<i>Obr. 10 Voltampérové charakteristiky označující: 1. odpojený kontakt, 2. zkrat, 3. odpor. [2]</i>	26
<i>Obr. 11 Tepelné vlastnosti kovů používaných u kovových pouzder. [3].....</i>	30
<i>Obr. 12 Struktura PEMs. [3]</i>	31
<i>Obr. 13 Struktura polymerů a) termoplastů, b) elastomerů, c) reaktoplastů. [22]</i>	33
<i>Obr. 14 Přehled vlastností pryskyřic k pouzdření elektronických součástek. [3]</i>	34
<i>Obr. 15 Nerovnoměrné odkrytí pouzdra. [25].....</i>	36
<i>Obr. 16 Znázornění kombinace laserového a chemického odstranění materiálu PBGA pouzdra: a) před použití laseru, b) po použití laseru, c) po chemickém ošetření.[25]</i>	37
<i>Obr. 17 Schéma vláknového zesilovače EDFA. [32]</i>	39
<i>Obr. 18 Uspořádání vláknového laserů: a) Fabryův-Perotův rezonátor, b) kruhový rezonátor. [30]</i>	40
<i>Obr. 19 Princip čerpání aktivního vlákna přes plášť. [30]</i>	41
<i>Obr. 20 Uživatelské rozhraní LightRay. [5]</i>	44
<i>Obr. 21 Graphical editor v uživatelském rozhraní Laserstudio. [5]</i>	46
<i>Obr. 22 Vliv použitého výkonu.</i>	48
<i>Obr. 23 Vliv použité frekvence.</i>	49
<i>Obr. 24 Vliv použité rychlosti laserového paprsku.</i>	49

<i>Obr. 25 Crow SE zapneme otočením klíče do polohy Start (vlevo), odsávání zapneme přepnutím vypínače do polohy I (uprostřed), ikona Laserstudio (vpravo).</i>	50
<i>Obr. 26 Označení místa, ze kterého bude materiál pouzdra odstraněn.</i>	51
<i>Obr. 27 Nastavení osy Z.</i>	51
<i>Obr. 28 Stav procesoru po prvním kroku.</i>	52
<i>Obr. 29 Stav procesoru po druhém kroku.</i>	53
<i>Obr. 30 Stav procesoru po třetím kroku.</i>	53
<i>Obr. 31 Stav procesoru po čtvrtém kroku.</i>	54
<i>Obr. 32 Chybějící propojení 9 pinu s polovodičovým čipem.</i>	55
<i>Obr. 33 Zbytky na čipu (vlevo), zničení struktury a označení čipu (vpravo).</i>	55
<i>Obr. 34 Značení na čipu zkoumaného procesoru.</i>	56
<i>Obr. 35 SENTRY Counterfeit IC Detector se speciálními adaptéry pro různé typy pouzder. [34]</i>	57
<i>Obr. 36 Univerzální adaptér pro pouzdra typu SOIC. [35]</i>	58
<i>Obr. 37 Úvodní obrazovka programu SENTRY.</i>	59
<i>Obr. 38 Toleranční pole VA charakteristik zkoumaného procesoru v záložce Results.</i>	61
<i>Obr. 39 Výběr typu testované součástky v programu pro SENTRY.</i>	62
<i>Obr. 40 Zobrazený typ součástky, před spuštěním testu.</i>	62
<i>Obr. 41 Značení výsledků měření na jednotlivých vývodech.</i>	63
<i>Obr. 42 Výsledky testu na SENTRY před (nahore) a po odhalení struktury čipu zkoumaného procesu (dole).</i>	64
<i>Obr. 43 Výsledky testu na SENTRY zkoumaného procesoru.</i>	64
<i>Obr. 44 Výsledky testu na SENTRY po odhalení zlatých drátků.</i>	65
<i>Obr. 45 Výsledky na SENTRY po odhalení čipu.</i>	65
<i>Obr. 46 VA charakteristika na 9 vývodu testovaného procesoru.</i>	65

SEZNAM TABULEK

<i>Graf č.1 Země původu padělaných součástek podle výrobců. [1]</i>	13
<i>Graf č.2 Procenta výskytu padělků v dodavatelském řetězci uvedené originálními výrobci součástek. [1]</i>	14
<i>Graf č.3 Způsoby padělání diskrétních součástek za období 2005 až 2008. [1]</i>	16
<i>Graf č.4 Způsoby padělání integrovaných obvodů za období 2005 až 2008. [1].....</i>	16
<i>Graf č.5 Celkové počty případů padělání hlášené originálními výrobci v letech 2005 až 2008. [1]</i>	17
<i>Graf č.6 Nejčastěji padělané integrované obvody podle typu. [1]</i>	17
<i>Graf č.7 Nejčastěji padělané diskrétní součástky podle typu součástky.[1]</i>	18