

Možnosti Ramanovy spektroskopie při analýze padělků elektronických součástek

The Possibilities Raman Spectroscopy for Counterfeit Component
Analysis

Bc. Karel Jelínek

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel JELÍNEK**
Osobní číslo: **A10452**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Možnosti Ramanovy spektroskopie při analýze
padělků elektronických součástek**

Zásady pro vypracování:

1. Z dostupných materiálů prostudujte problematiku rozpoznatelných znaků nepůvodních elektronických součástek a metody jejich zjišťování.
2. Prostudujte principy a aplikační možnosti Ramanovy spektroskopie pro různé materiály.
3. Na vybraných vzorcích součástek a materiálů se pokuste experimentálně nalézt podmínky pro jejich analýzu Ramanovou spektroskopií.
4. Diskutujte získané experimentální výsledky, formulujte závěr a navrhnete možné postupy pro další práce zaměřené na možnosti využití Ramanovy spektroskopie při rozpoznávání některých znaků nepůvodních součástek a materiálů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. M. Crawford, et al., Defense Industrial Base Assessment. In: Counterfeit Electronics, Report of U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, Office of Technology Evaluation, January 2010.
<http://bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/>
2. HARPER, Charles A. Electronic materials and processes handbook. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN 00-714-0214-4.
3. Detection of Counterfeit Electronic Components. American Electronic Resource[online]. ? 2010 [cit. 2012-02-01]. Dostupné z:
<http://www.aeri.com/detection-of-counterfeit.asp>
4. S. Schoppe, G. Robertson, Screening For Counterfeit Electronic Components. In: Process Sciences Inc., 2010.
<http://www.smtnet.com/library/files/upload/PSI-Counterfeits-Screening.pdf>
5. BERNATH, Peter F. Spectra of atoms and molecules. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 978-0-19-517759-6.
6. SIESLER, H a K HOLLAND-MORITZ. Infrared and Raman spectroscopy of polymers. New York: M. Dekker, c1980, 389 s. ISBN 08-247-6935-X.
7. HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. 1. české vyd., 2. dotisk. V Brně: Prometheus, 2006, s. 890-920. ISBN 8021418680.
8. Journal of Raman spectroscopy. Chichester: John Wiley and sons, 1973-. ISSN 1097-4555.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Neumann, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na objasnění pravosti elektronických součástek, zda použité materiály, z nichž se pouzdra součástek skládají, obsahují stejné látkové složení jako originální ověřené součástky. Objasnění materiálového zastoupení je zkoumáno pomocí analytické metody Ramanovy spektroskopie. Teoretická část práce je zaměřena na výskyt nepůvodních součástek, dále jsou také uvedeny specifické znaky objevující se u nepůvodních součástek, ale rovněž jsou představeny další metody přispívající k odhalení potenciálních padělků. V praktické části jsou popsána naměřená Ramanova spektra vybraných vzorků. Na průběh experimentálního měření navazuje také kapitola *Vyhodnocení a diskuze* hodnotící průběh měření.

Klíčová slova: Ramanova spektroskopie, padělek elektronické součástky, nepůvodní součástka.

ABSTRACT

This dissertation is focussing on clarification of authenticity of electronic components, especially on material composition. The aim was to sort out if the material composition of casing of non-original parts is identical with original ones. This was examined using Raman spectroscopy method. Theoretical part of dissertation is examining occurrence of non-original complements. New methods used in detecting counterfeits are also introduced. Measured Raman spectroscopy of selected samples is described in practical part. Development of experimental measurement is mentioned in the chapter evaluation and discussion which is appraising progress of measurement.

Keywords: Raman spectroscopy, counterfeits of electronic components, non-original parts.

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Neumannovi, Ph.D. za čas věnovaný mé osobě, odborné rady, připomínky a podporu během tvorby práce. Rád bych také poděkoval Mgr. Haně Vaškové za odborné konzultace, pomoc při laboratorním měření a vyhodnocení výsledků. Poděkování patří také Ing. Josefu Sedlmeierovi z firmy Renishaw, za odborné rady v oblasti Ramanovy spektroskopie.

Dále bych chtěl také poděkovat mým rodičům a přátelům za jejich trpělivost a podporu při mém studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PADĚLÁNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	11
1.1 ROZŠÍŘENOST PADĚLKŮ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK.....	12
1.2 TYPY PADĚLKŮ.....	12
1.3 ZDROJE PADĚLKŮ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK.....	14
1.4 ROZPOZNATELNÉ ZNAKY NEPŮVODNÍCH ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK.....	15
1.4.1 Vizuální kontrola.....	15
Vlasy	15
Země původu	16
Textura povrchu	17
Nedokonalosti součástky	19
2 ZPŮSOBY ANALÝZY, METODY ODHALOVÁNÍ PADĚLKŮ	20
2.1 ANALÝZA POMOCÍ RENTGENOVÉHO ZAŘÍZENÍ (RTG).....	20
2.2 MĚŘENÍ VOLTAMPÉROVÝCH CHARAKTERISTIK.....	21
2.3 PARAMETRICKÉ MĚŘENÍ	21
3 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE	22
3.1 RAMANOVA SPEKTRA (PRINCIP)	22
3.2 VÝHODY A NEVÝHODY	25
3.2.1 Výhody RS	25
3.2.2 Nevýhody RS	25
3.3 FLUORESCENCE	25
3.4 APLIKAČNÍ MOŽNOSTI RAMANOVY SPEKTROSKOPIE.....	27
3.4.1 Nanotechnologie.....	27
3.4.2 Forenzní vědy	27
3.4.3 Aplikace v umění a renovaci památek, analýza uměleckých předmětů	28
3.4.4 Polovodičový průmysl.....	28
3.4.5 Geologie a mineralogie	28
3.4.6 Materiálové vědy.....	29
3.4.7 Farmaceutický průmysl	29
3.4.8 Lékařství a biologie	29
4 MATERIÁL POUZDER ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK	31
4.1 HERMETICKÁ POUZDRA	32
4.1.1 Keramická pouzdra	32
4.1.2 Hermetická kovová pouzdra.....	34
4.2 NEHERMETICKÁ POUZDRA.....	35
4.2.1 Materiály pro plastová pouzdra.....	35

4.3	MATERIÁL LED DIOD	37
5	ANALYTICKÉ METODY PRO ANALÝZU MATERIÁLU	38
5.1	DESTRUKTIVNÍ METODY	38
5.2	NEDESTRUKTIVNÍ METODY	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
6	STANOVENÍ CÍLŮ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI PRÁCE	43
6.1	INSTRUMENTACE	43
6.2	VÝBĚR ZKOUMANÝCH VZORKŮ	44
6.3	POPIS POSTUPU MĚŘENÍ	46
6.4	PROSTŘEDÍ PROGRAMU WIRE 3.2	47
6.5	NAMĚŘENÁ SPEKTRA.....	48
6.5.1	Naměřená spektra procesoru	48
6.5.2	Naměřená spektra LED diod	54
6.6	VYHODNOCENÍ A DISKUZE.....	57
	ZÁVĚR	61
	CONCLUSION	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Téma práce, které jsem si vybral, bylo pro mě výzvou, neboť jsem o možnostech zkoumání padělků elektronických součástek použitím metody Ramanovy spektroskopie doposud nevěděl. Co se týká použitelnosti aplikování Ramanovy spektroskopie, měl jsem pouze strohé informace. Díky dostupným zdrojům a informacím od odborníků jsem si tuto problematiku mohl přiblížit a pochopit tak princip analytické metody zkoumající pravost elektronických součástek.

Vzhledem k tomu, že problematika padělků elektronických součástek není v našich podmínkách ještě tak často diskutovaná jako v ostatních vyspělých zahraničních zemích, bylo nelehké získat informace o této nepříliš medializované oblasti.

Z počátku jsem analytické metodě příliš nedůvěřoval, a proto jsem si stanovil výzkumnou otázku: Je možné, aby metoda Ramanovy spektroskopie byla schopna odhalit diferenci mezi originálními a nepůvodními součástkami?

Cílem mé práce tedy bylo zjistit, zda lze aplikování analytické metody Ramanovy spektroskopie využít při zkoumání materiálového složení pouzder elektronických součástek a (následně) tak rozeznat ve výsledcích mého měření rozdíly mezi součástkami.

Diplomová práce je členěna do několika kapitol, avšak mezi nejpodstatnější části této práce patří představení specifických znaků pouzder elektronických součástek. Díky teoretickým poznatkům se mohlo uskutečnit výzkumné šetření v rámci praktické části diplomové práce. V neposlední řadě nesmíme opomenout Diskusi, která nejenom hodnotí získané výsledky, ale také spekuluje o dalším možném zkoumání.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PADĚLÁNÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

Stále se zvyšující výskyt padělků součástek je aktuálním problémem po celém světě. Uvedený problém se vyskytuje téměř v každé průmyslové oblasti. Jsme svědky neustále přicházejících nešťastných zpráv, kde „selhala“ technika a způsobila tak v některých případech i tragické neštěstí. V mnoha případech se jedná o důsledek použití nepůvodních (padělaných) součástek. Padělané součástky ve většině případů nejsou schopny zvládat takovou zátěž, jaká je kladena na originální součástky od konkrétního (autorizovaného) výrobce.

Elektronický průmysl není výjimkou. Výskyt padělků elektronických součástek byl zaznamenán už od 70. let minulého století. Bohužel v posledních letech výskyt padělaných elektronických součástek prudce narůstá. Na trhu se tyto produkty dostanou a udrží především díky své ceně, v mnohých případech záleží také na dostupnosti určitých součástek.

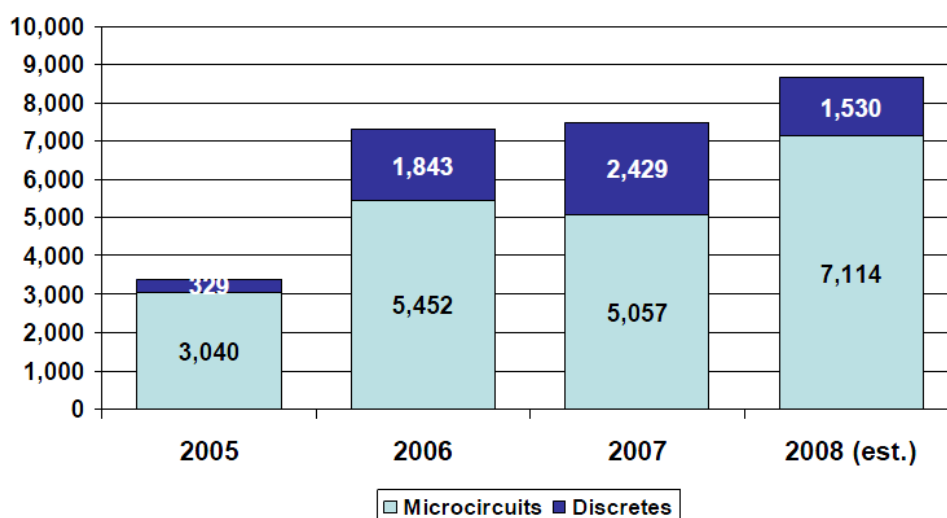
Možné nebezpečí způsobené selháním padělané elektronické součástky mohou mít tragické následky, vyskytující se především v oblasti lékařské, letecké či vojenské techniky. Některé země se s touto problematikou snaží bojovat, jako to v současné době představují přísnější a důslednější celní kontroly, či různá opatření v souvislosti s legislativou.

Pro odhalení pochybných produktů při kontrole jsou vyvíjeny nové analytické metody, které efektivně přispívají k přesné detekci vlastností a parametrů výrobků. Zjištěné informace a parametry je možné následně porovnávat s referenční, čili původní originální součástkou.

Problém padělaní elektronických součástí nastává přímo v oblasti distribučních sítí. Zde se především jedná o porušování autorských práv a právních norem původních výrobců. Padělky elektronických součástek znamenají také technické problémy se zásadním vlivem na funkčnost, spolehlivost a bezpečnost, ať už diskretních součástek, či složitějších integrovaných obvodů a sestav, ve kterých jsou zmíněné součástky použity. Tím pádem prevence jejich průniku do sestav výrobků jsou především v zájmu distributorů elektronických součástek a jejich uživatelů. Dle hlášených a zjištěných případů s výskytem padělaných elektronických součástek lze tvrdit, že sortiment zmíněných padělků zahrnuje jak diskretní součástky, které představují tranzistory, odpory a kondenzátory, ale také integrované obvody různé složitosti. [1], [31], [33]

1.1 Rozšířenost padělků elektronických součástek

Počet hlášených výskytů padělaných elektronických součástek podle výsledků průzkumu zprávy americké obchodní komory prudce vzrostl od roku 2005 až do roku 2008. Na grafu č. 1 jsou vidět hlášené případy, které uvedli autorizovaní výrobci elektronických součástek. Nejenom u diskrétních součástek, ale i u mikroobvodů, u kterých také vzrostl výskyt padělaných kusů, i když byl zaznamenán nepatrný pokles výskytu nepůvodních součástek mezi lety 2006 - 2007.

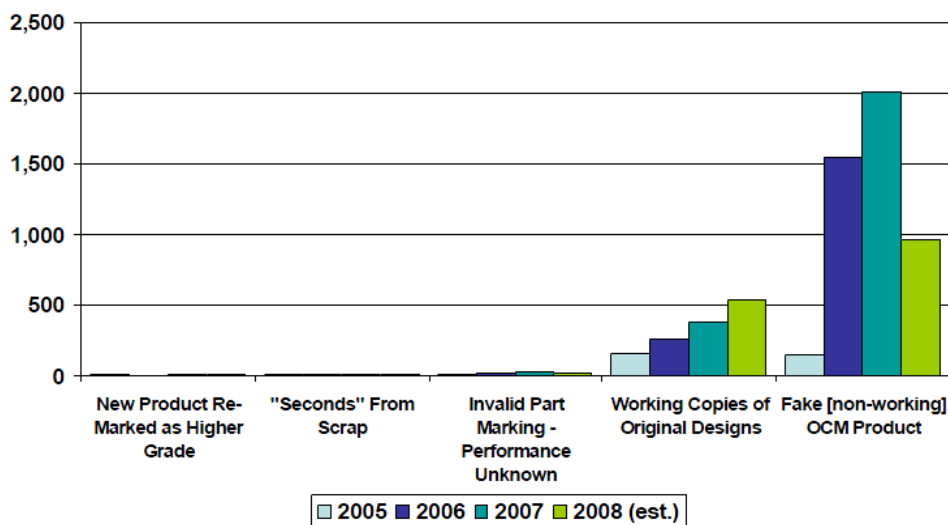


Graf č. 1 Poměrné zastoupení objevených padělaných elektronických součástek mezi lety 2005-2008. [1]

1.2 Typy padělků

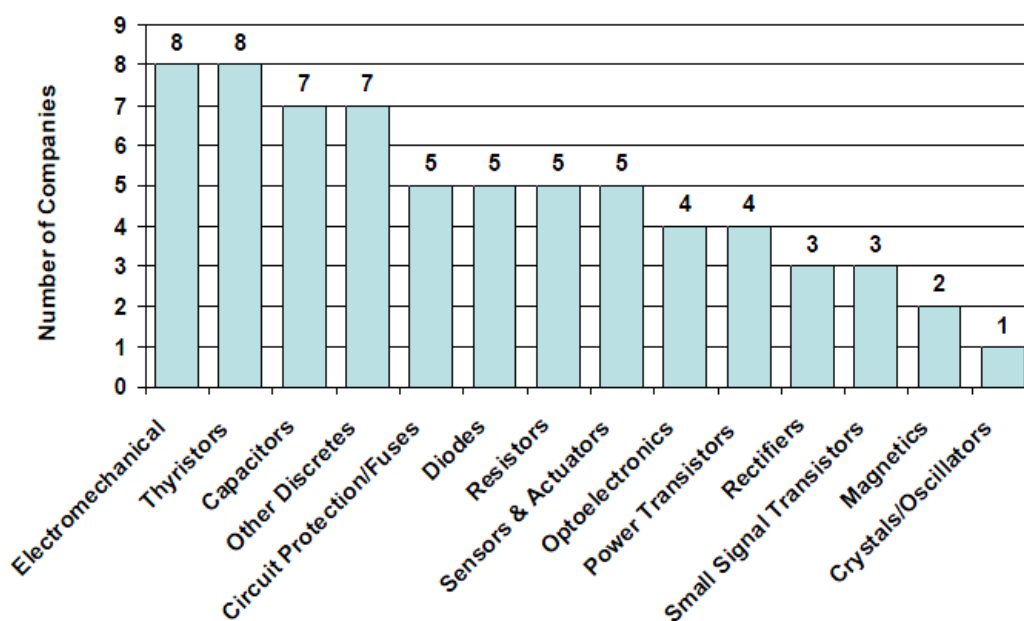
Autorizovaní výrobci elektronických součástek uvádějí, že většina padělků, se kterými přišli do styku, byly převážně dodávky falešných a nefunkčních výrobků. Šlo o kopie funkčních vzorků od původních výrobců, jako je možné vidět v Graf č. 2. Výrobci mikroobvodů se nejvíce setkali s typem padělků, kdy již použitý výrobek byl označen jako produkt vyšší třídy, a tak uveden jako nový výrobek. I když tyto druhy padělaných výrobků mohou fungovat, nelze u nich zaručit výkony na stejné úrovni, jako vykazují originální produkty. Padělané výrobky mohou selhat v době, kdy na takovou součástku působí maximální zatížení, ale v mnoha případech může přestat fungovat i za běžných podmínek. Mezi nejčastější typy nepůvodních součástek jsou výrobky, které již nebyly funkční, avšak neautorizovaní výrobci je vydávali za nové produkty. Další znaky, které mohou obsahovat

potenciální padělky jsou uvedeny v kapitole 1.4 *Rozpoznatelné znaky nepůvodních elektronických součástek*.



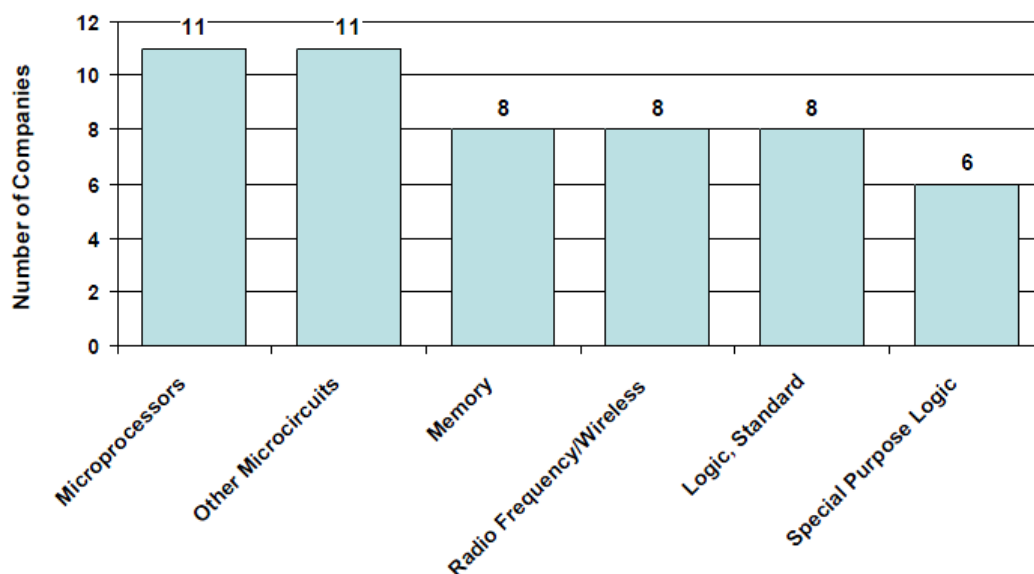
Graf č. 2 Znárodnění výskytu kopií originálních vzorů a falešných výrobků autorizovaných výrobců elektronických součástek. Grafické znárodnění bylo zpracováno z průzkumu americké obchodní komory na základě výsledků hlášených výrobcí originálních součástek v USA. [1]

Následující graf č. 3 znárodnění zastoupení jednotlivých typů padělků diskretních součástek hlášených výrobcí originálních součástek v USA a zpracováno na základě výsledků průzkumu americké obchodní komory.



Graf č. 3 Znárodnění výskytu typů nepůvodních diskretních součástek. [1]

Graf č. 4 znázorňuje zastoupení jednotlivých typů nepůvodních součástek integrovaných obvodů, které byly hlášeny výrobcí originálních součástek integrovaných obvodů v USA a výsledky průzkumu americké obchodní komory. [1]

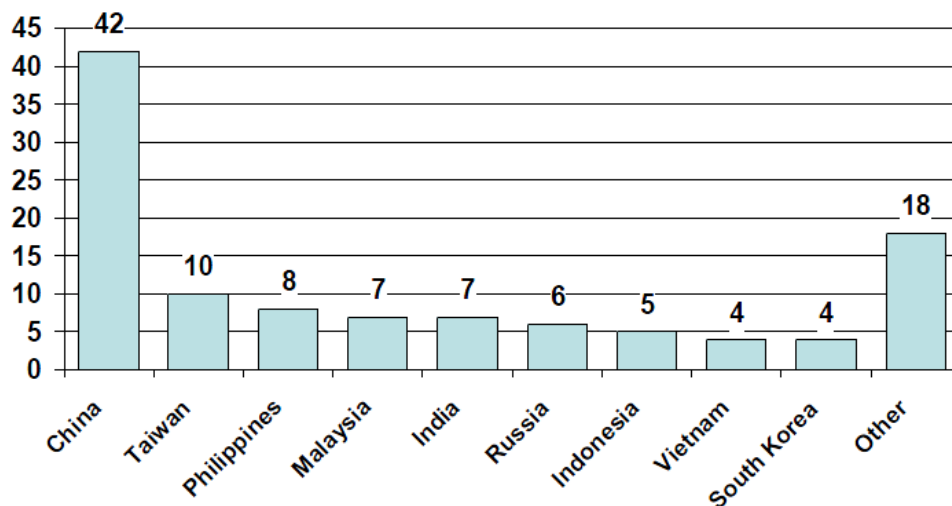


Graf č. 4 Znárodnění výskytu typů nepůvodních integrovaných obvodů. [1]

1.3 Zdroje padělků elektronických součástek

Byl uskutečněn výzkum, kde byli osloveni výrobci původních elektronických součástí, aby určili země, které produkují nebo jsou zdrojem původu padělaných výrobků. Výrobci označili nejčastěji Čínu jako největší a nejrozšířenější zdroj padělaných elektronických komponentů. Dalšími zeměmi, které byly označeny jako země s nejvyšším počtem původu padělaných součástek, jsou Asie, Rusko a Indie. Několik dotázaných výrobců uvedlo, že další zdroje nejsou již tak výrazně jednoznačné. Spíše se domnívali na základě svých osobních zkušeností o následujících zemích v žebříčku. Viz. Graf č. 5 Srovnání zemí produkujících padělané výrobky. [1] Tento jev ovlivňují z velké části také necertifikované dodavatelské řetězce elektronických produktů, které nelze objektivně monitorovat. V grafu jsou celkově označeny i další země - sloupcem ostatní¹. [1], [33]

¹ "Ostatní" sloupec v grafu č. 5 se skládá z následujících zemí: Singapur, Thajsko, Brazílie, Mexiko, Izrael, Severní Korea, Velká Británie, Paraguay, Írán, Gruzie, Maďarsko, Chile, Rumunsko a Uruguay.



Graf č. 5 Srovnání zemí produkující padělané výrobky. [1]

1.4 Rozpoznatelné znaky nepůvodních elektronických součástek

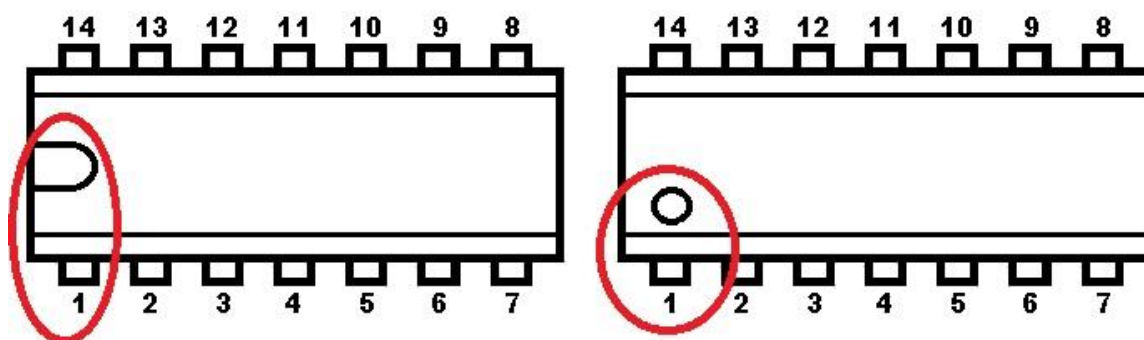
1.4.1 Vizuální kontrola

U elektronických součástek je vhodné si povšimnout několika základních znaků, díky kterým je možné odhalit padělek. Vzhledem k tomu, že elektronické součástky jsou mnohdy velmi malých rozměrů, je potřeba použít mikroskopu s minimálně třicetinasobným zvětšením. Následně také může přispět k analýze i rozpouštědlo, díky kterému je možné ověřit stálost potisku a označení součástky. Případně je vhodné kontrolovat potenciální překlepy a nedokonalosti na štítcích výrobce, či označení přímo na povrchu pouzdra. Označení může představovat datum, kódy a loga. Např. balení součástek může být porušeno nebo štítky s popisem mohou být nápadně přepsány. [3]

Vlasy

Téměř každý povrch obalu integrovaných obvodů obsahuje jisté znaky, které mohou přispívat k orientaci zapojení součástky a označení prvního pinu, jako je vidět na obr. 1. Dále také vlasy různých tvarů a velikostí. Ty slouží pro usazení součástky, jiné slouží z hlediska konstrukce a technologie výroby formy. Vlasy na povrchu součástek mohou mít tvar zploštělý nebo zaoblený. Již při vizuální kontrole povrchu součástky je možné

si povšimnout vyobrazení ostrosti okraje právě zmiňovaných vlysů, ty mohou splývat nebo působit nevýrazně. To může svědčit o tom, že povrch součástky je překryt materiálem (blacktopping²), který skryje povrch a označení původní součástky (více *Textura povrchu*). U originálních součástek tyto prohlubně jsou vždy čisté a nezanesené. Po prozkoumání těchto znaků je možné, při porovnání s originální součástkou, narazit na padělek. [1], [3]



Obr. 1 Označení 1. vývodu na povrchu obalu integrovaného obvodu.



Obr. 2 Na součástce stejného typu je vidět rozdíl vlysu. [3]

Země původu

U většiny součástek je uveden původ země přímo na povrchu pouzdra. Při zvětšení součástky je čitelný. Často je umístěn přímo ve vlysu. U menších výrobků se uvádí symbolika číselného kódu. Kód je přiřazen zemi, která součástku vyrobila. [1], [3]

² Povrchová úprava, způsob padělení elektronických součástek. Po odbroušení povrchu součástky (popisu) je nanášena směs, která překrývá vzniklé nedokonalosti na povrchu součástky.



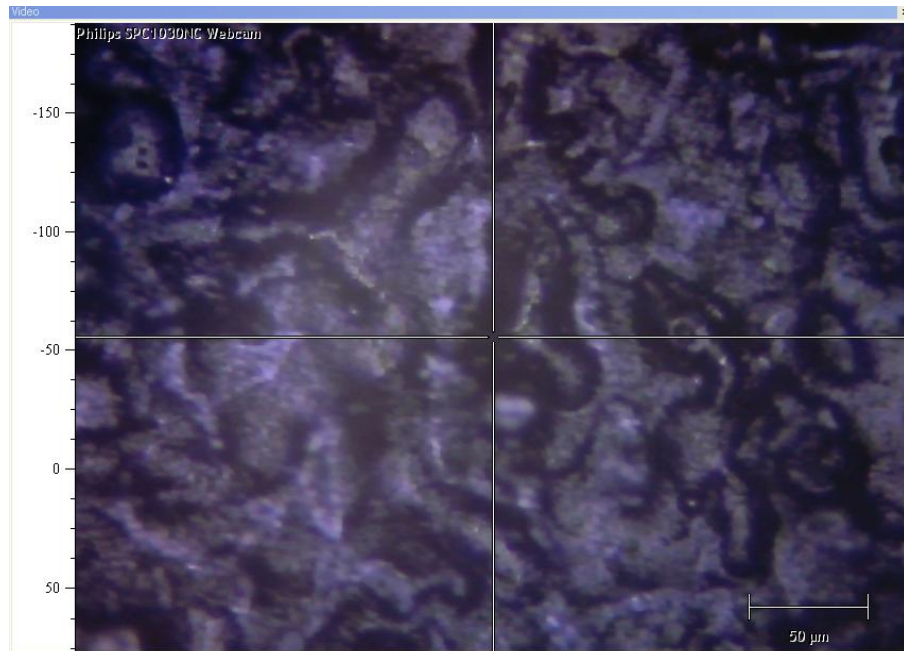
Obr. 3 Srovnání značek označující zemi původu. [3]

Textura povrchu

Plastová pouzdra elektrických komponentů jsou typicky vyráběna ze směsi jemného skla a plastu. Povrch součástky pouzdra je strukturovaný, avšak drážky, vlysy, dutiny a piny jsou hladké, jak je uvedeno v části *Vlysy*.

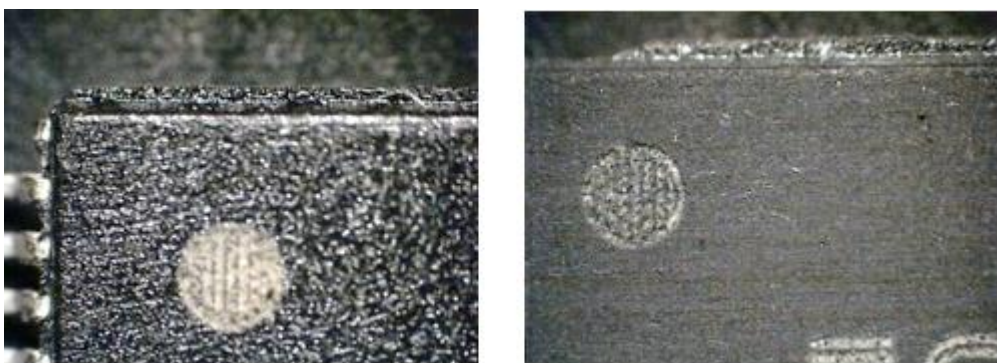
Rozeznání padělané součástky od originální je velmi obtížné pouhým okem, ale při použití mikroskopu mohou být rozdíly velmi zřetelné. Struktura povrchu součástky obsahuje „ostřejší“ zrnitost a jednotvárnější vzhled. Zrnitý povrch pouzdra je zapříčiněn právě přimísením jemného skla. Pokud není zachována zmiňovaná zrnitost, není vyloučeno, že byla při padělání použita metoda blacktopping³. Právě tato metoda „ostrou“ strukturu povrchu obalu elektronické součástky dokáže vyhladit. [1], [3]

³Pokud se na povrchu pouzdra elektronické součástky vyskytují rozdílné struktury, může se jednat o metodu tzv. Blacktopping. Povrch součástky je opatřen tenkou vrstvou materiálu. V mnoha případech to mohou být různé směsi asfaltu. Před samotným aplikováním nátěru či nástřiku je zapotřebí součástku obrousit, tudíž i tento krok může zanechat na obalu nežádoucí stopy. Následně se povrch přetře již zmíněnou směsí. Metodu lze odhalit použitím rozpouštědla. Zda byl použit právě takový způsob úpravy součástky je možné si povšimnout při změně struktury povrchu obalu součástky.



Obr. 4 Struktura 20x zvětšeného povrchu pouzdra součástky integrovaného obvodu. Pořízeno optickým mikroskopem, který je součástí Ramanova spektroskopu.

Na *Obr. 5* je součástka, která byla padělána. Její povrch byl natřen asfaltovou směsí, aby překryl původní označení součástky. Na součástce po omytí rozpouštědlem je možné si povšimnout lehkých stop po broušení původní součástky.



Obr. 5 Podezřelá součástka svým povrchem, která byla následně omyta rozpouštědlem. [3]

Nedokonalosti součástky

Popis součástky na obalu pouzdra bývá zpravidla velmi přesně proveden, ať už se jedná o logo výrobce, které je velmi precizní, tak i o další označení součástky. I přes nepříznivé podmínky, které mohou působit v extrémních případech na samotnou elektronickou součástku, musí zůstat její označení čitelné a dobře rozpoznatelné. Potisk tedy musí vykazovat stálost i v náročném prostředí. Jedná se také o umístění potisku součástek stejného typu, ten by měl být umístěn vždy ve stejném místě povrchu součástky. Dále také stálost popisu, což znamená, že při použití roztoku rozpouštědla musí popis zůstat beze změny. [3]



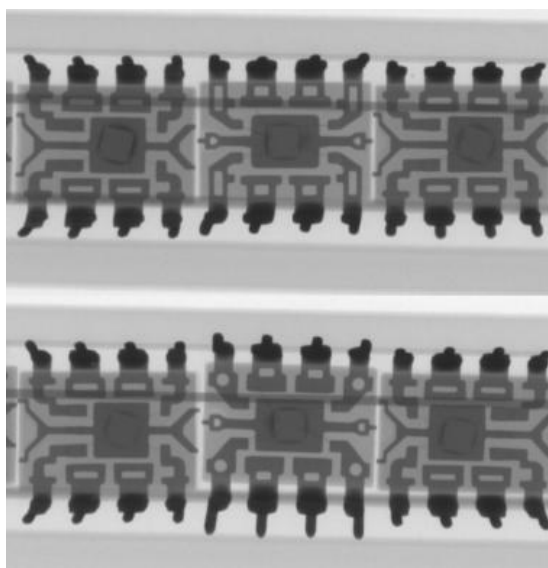
*Obr. 6 Zobrazení nedokonalostí
označení součástky. [3]*

2 ZPŮSOBY ANALÝZY, METODY ODHALOVÁNÍ PADĚLKŮ

Do oblasti padělků v pravém slova smyslu nepatří jenom pochybně označená pouzdra, ale také pouzdra, která se jeví jako bezproblémová. I takové mohou být úplně prázdné, nebo obsahují zcela jinou součástku či vnitřní strukturu. Právě takových problémových součástek se vyskytuje celá řada. Mezi ty se mohou začlenit i např. recyklované komponenty ze starých již použitých desek plošných spojů, u nichž při jejich demontáži může dojít k znehodnocení součástky. Nebo také funkční součástky, které vůbec neprošly výstupní kontrolou, či právě touto kontrolou byly vyřazeny. Existuje několik metod přispívajících k odhalení padělků. Některé z nich byly již výše popsány v kapitole *Vizuální kontrola*. [22]

2.1 Analýza pomocí rentgenového zařízení (RTG)

Výrazné možnosti má analýza použitím rentgenového zařízení, která umožňuje nedestruktivně a efektivně zkoumat vnitřní strukturu součástky. Elektronické součástky je možné kontrolovat i bez odstranění balení, ve kterém jsou dodávány. Pořízené snímky mohou uvádět skutečnosti, zda zkoumaná součástka pod svým pouzdem obsahuje vůbec čip. Jak je právě takový čip veliký, popřípadě jeho tvary. Následně se tyto zajištěné výsledky porovnávají se skutečnou originální součástkou a hodnotí se případné, nalezené a rozličné vlastnosti. Dále je možné odhalit připojení, zda není přerušené, nebo propojení s vnějším kontaktním systémem. [17], [22]



Obr. 7 Kontrola balení metodou RTG. [17]

2.2 Měření voltampérových charakteristik

U měřených elektronických součástek se měří voltampérová charakteristika a následně lze posoudit, zda je v pouzdře správný typ součástky v rámci stejné šarže a posoudit tak možné odchylky jednotlivých měřených vzorků. Pro jednotlivé konkrétní typy součástek je možné stanovit typické voltampérové charakteristiky. Analýza za pomoci voltampérové charakteristiky je rychlá srovnávací metoda, kdy je nutno mít k dispozici referenční součástku nebo její reálné měřené parametry.

Existují zařízení, která vyrábí firmy zabývající se přímo problematikou detekce padělaných elektronických součástek. Takovým produktem může být např. detektor padělků elektronických součástek SentryCounterfeit IC Detector britské firmy ABI Electronics Ltd., který je schopen vyhodnotit voltampérové charakteristiky měřené elektronické součástky porovnáním s charakteristikami určeného vzoru. [20]

2.3 Parametrické měření

Jedná se o nejpřesnější a zároveň nejspolehlivější způsob kontroly součástek, a tak i měření jejich skutečných konkrétních parametrů. Následně naměřené výsledky porovnat s parametry, jaké uvádí přímo výrobce k dané součástce. Metoda parametrického měření z velké části odráží způsob, jakým se součástky testují v sériové výrobě. Měření je využíváno při výrobě a vývoji součástek, které jsou zvláště náročné na spolehlivost a naprostou bezchybnost (např. letecký průmysl, obranný, kosmický či zdravotnický průmysl). Měření parametrů se tedy liší na základě druhu měřené součástky. Mohou se rozčlenit do několika skupin, jako např. diskrétní součástky a integrované obvody. [4], [19]

3 RAMANOVA SPEKTROSKOPIE

Ramanova spektroskopie spadá do oblasti vibrační molekulové spektroskopie. Název nese po indickém fyzikovi Chandrasekharu Venkata Ramanovi, který získal Nobelovu cenu v roce 1930 za objev tzv. Ramanova jevu. V roce 1928 profesor Raman spolu s K. S. Krišnanem popsal jev neelastického optického rozptylu, který už ale byl předpovězen o pár let dříve, jenž je základem Ramanovy spektroskopické metody. Tato analytická metoda je využívána pro identifikaci látek, při zjišťování informací o struktuře a složení molekul. Využívá se při analýze pevných látek, kapalin, plynů, dále rovněž při analýze povrchů elektrod či senzorů, nebo biologických systémů (tkáně). Ramanova spektroskopie nachází své uplatnění v různých oborech, jako je uvedeno v kapitole *Aplikační možnosti Ramanovy spektroskopie*. [23]

3.1 Ramanova spektra (princip)

Vibračně rotační přechody je umožněno zkoumat dvěma způsoby. Tím prvním je přímé pozorování v infračervené oblasti, a druhým způsobem je studium rozptylu světla. V Ramanově spektroskopii se energie molekul zkoumají analýzou frekvencí přítomných v záření rozptýleném právě těmito molekulami. V průběhu měření prochází monochromatický paprsek přes měřený vzorek a zkoumá se rozptýlené záření v kolmém směru na dopadající světelný paprsek. Při takovém jevu asi jeden ze 10^7 dopadajících fotonů se střetne s molekulou tak, že foton molekule odevzdá určitou část své energie a rozptýlí se s menší energií.

*„Osvětli-li se soustava molekul monochromatickým světlem a rozloží-li se potom spektrálně světlo, které se rozptýlilo, objeví se vedle původní, tzv. excitační linie světla, kterým byla soustava osvětlena, nové linie, posunuté od excitační čáry směrem k větším i menším vlnovým délkám.“*⁴ Vznik nových linií je způsoben vlastnostmi molekul, ty mají

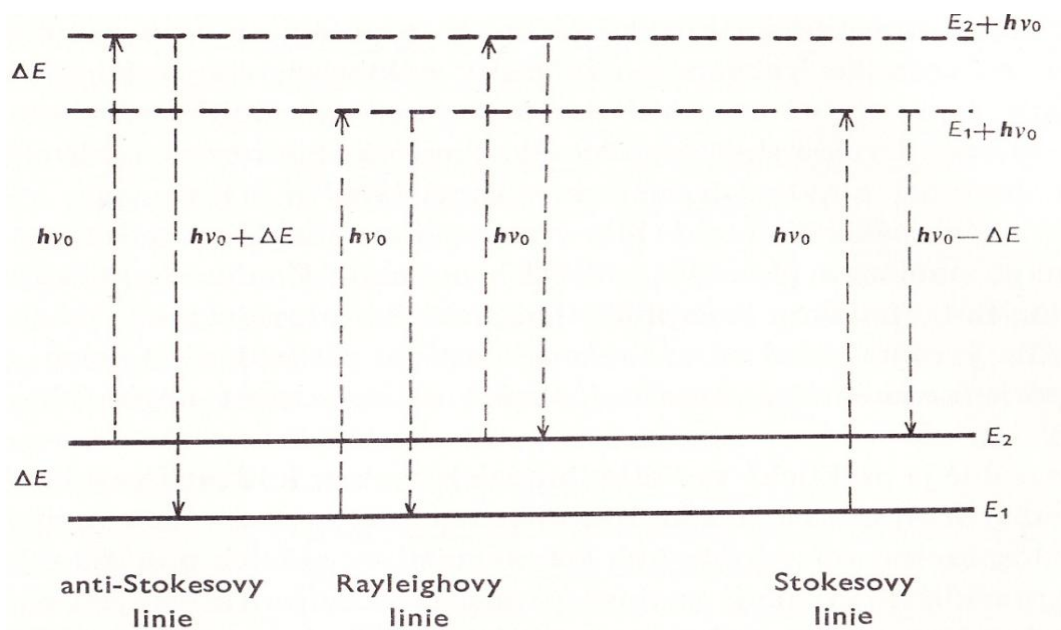
⁴ HORÁK, Milan a Dušan PAPOUŠEK. *Infračervená spektra a struktura molekul*. 1. vyd. Praha: Academia, 1976, 836 s. ISBN neznámé. s. 24.

vlastní vibrační a rotační pohyb. Pro excitaci lze použít jak infračervené záření, tak i viditelné záření, které lze snadněji detekovat.

K lepšímu vysvětlení může pomoci *Obr. 8*, kde je možné si představit frekvenci dopadajícího „paprsku“ světla jako ν_0 a energii světelného kvanta označeného jako $h\nu_0$. Pokud dochází ke střetu excitačního záření (ve formě fotonu) s molekulou, jenž se nachází v libovolném ze svých stacionárních stavů s energiemi E_1 a E_2 , zvýší se přitom energetická hodnota molekuly na hodnotu $E_2+h\nu_0$ a $E_1+h\nu_0$. Avšak pokud vyzařované excitované energetické hladiny nejsou stabilní, následně dochází k rozptylu světla zapříčiněného přechodem molekuly na nižší energetický stav. Vrací-li se molekula po střetu s vyzářeným fotonem do původního stavu a přitom se vyzáří opět stejné kvantum $h\nu_0$, tudíž jeho vyzářená frekvence zůstane stejná, jedná se o tzv. Rayleighův rozptyl. Pokud ale molekula přechází na jiný stacionární stav než před střetnutím s dopadajícím fotonem, odebere nebo naopak přidá část energie světelnému kvantu (dopadajícímu fotonu). Změní se tak frekvence světelného kvanta o hodnotu

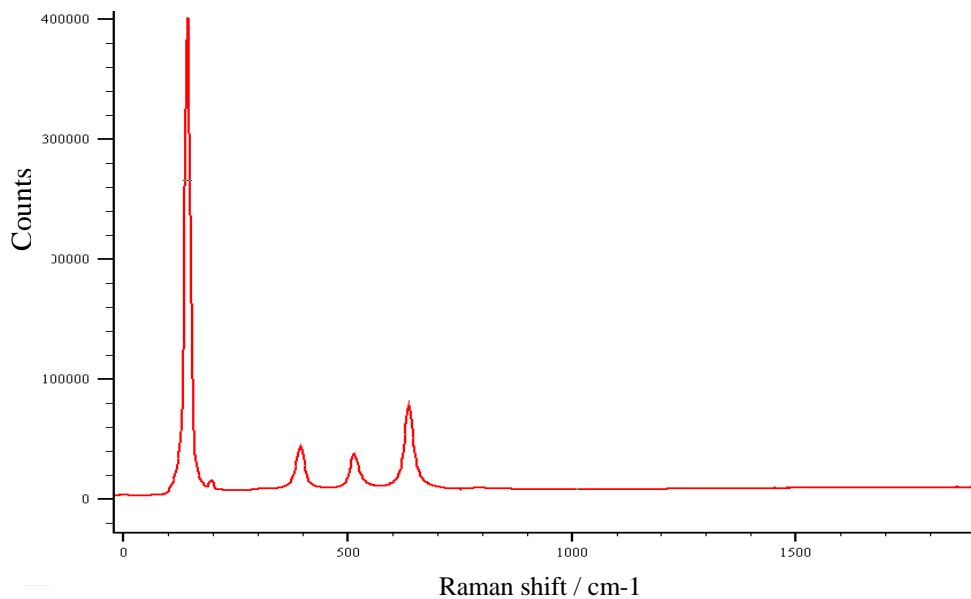
$$\frac{(E_1-E_2)}{h} = \frac{\Delta E}{h} \text{ nebo } \frac{(E_2-E_1)}{h} = \frac{\Delta E}{h} \quad (1)$$

podle toho, jestliže byla před excitací původně molekula ve stavu E_1 nebo E_2 a ve spektru rozptýleného světla se objeví vedle excitační linie s frekvencí $\nu_0+\Delta E/h$ nebo $\nu_0-\Delta E/h$. Popisovaný jev je znázorněn na následujícím obrázku.

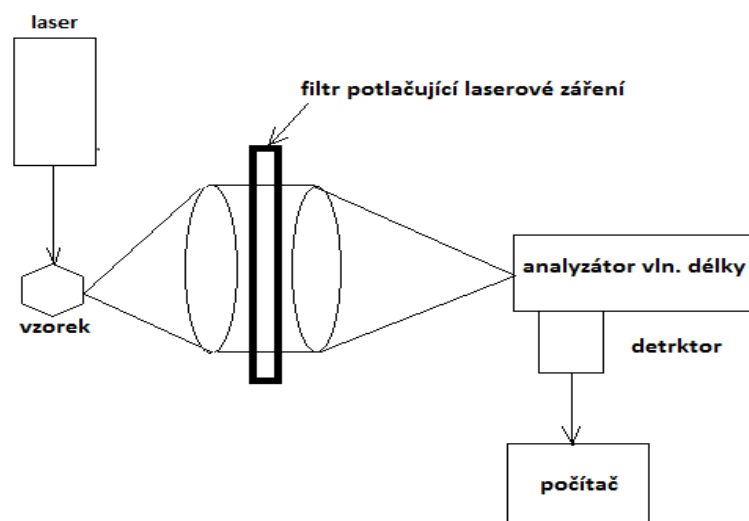


Obr. 8 Schematické zobrazení rozptylu světla v Ramanově spektroskopii [9]

Absolutní hodnoty rozdílu mezi frekvencí excitační linie ν_0 a frekvencí pozměněných linií tj. $\nu_R = \Delta E/h$ vzniklých střetnutím vyzářeného fotonu s molekulou jsou označovány jako Ramanovy frekvence. Pokud rozptýlené fotony vytvářejí záření s nižší frekvencí, než je původní frekvence dopadajícího záření, čili linie posunuté od excitační linie směrem k vyšším vlnovým délkám se nazývají Stokesovy linie (nebo také Stokesovo záření). Naopak anti-Stokesovo záření nebo také anti-Stokesovy linie. Při měření v experimentální části jsou využívány pouze Stokesovy linie, jsou výraznější. [9]



Obr. 9 Ukázka Ramanova spektra oxidu titaničitého, který se vyskytuje v materiálu, jimž se popisují pouzdra elektronických součástek.



Obr. 10 Schematické znázornění Ramanova spektrometru.

3.2 Výhody a nevýhody

3.2.1 Výhody RS

- Jedná se o nedestruktivní a nekontaktní metodu, čili zkoumaný vzorek lze dále použít pro další analýzy. Látky je možné analyzovat i přes obalové materiály (sklo, obal z polymeru).
- Analytická metoda, která není omezena pouze na statický snímek (citlivost ke změnám, možnost dynamických studií).
- Rychlá metoda, strukturní informace lze získat v relativně krátkém čase.
- Možnost měřitelnosti vzorků libovolné morfologie (gely, vlákna, prášky, roztoky, monokrystaly).
- Voda představuje při měření pomocí Ramanovy spektroskopie ideální rozpouštědlo (ve srovnání s IČ spektroskopii), neovlivňuje měření.
- Vykreslení Ramanova spektra je možné pořídit z velmi malého množství vzorku, kde záleží na schopnosti mikroskopu (1 μ m - 2 μ m).

3.2.2 Nevýhody RS

- Ramanova spektroskopie může být negativně ovlivňována fluorescencí.
- K analyzování materiálů je vyžadováno velmi citlivých zařízení z důvodu slabé intenzity Ramanova rozptylu.
- U citlivých vzorků je možné působením intenzivního laserového paprsku vzorek znehodnotit.
- Některé materiály nejsou Ramanovsky aktivní, především kovy a jejich slitiny.

3.3 Fluorescence

Fluorescence je fyzikální jev, jenž spadá spolu s fosforescencí mezi luminiscenční jevy. Ty jsou nejčastěji vyvolány (právě) elektromagnetickým zářením v oblasti viditelného, popř. ultrafialového světla. Rozdíl mezi těmito dvěma jevy je ve způsobu, jakým tyto jevy nastávají a také délkou dohasínání. Luminiscence tedy vyvolává záření, které dopadá

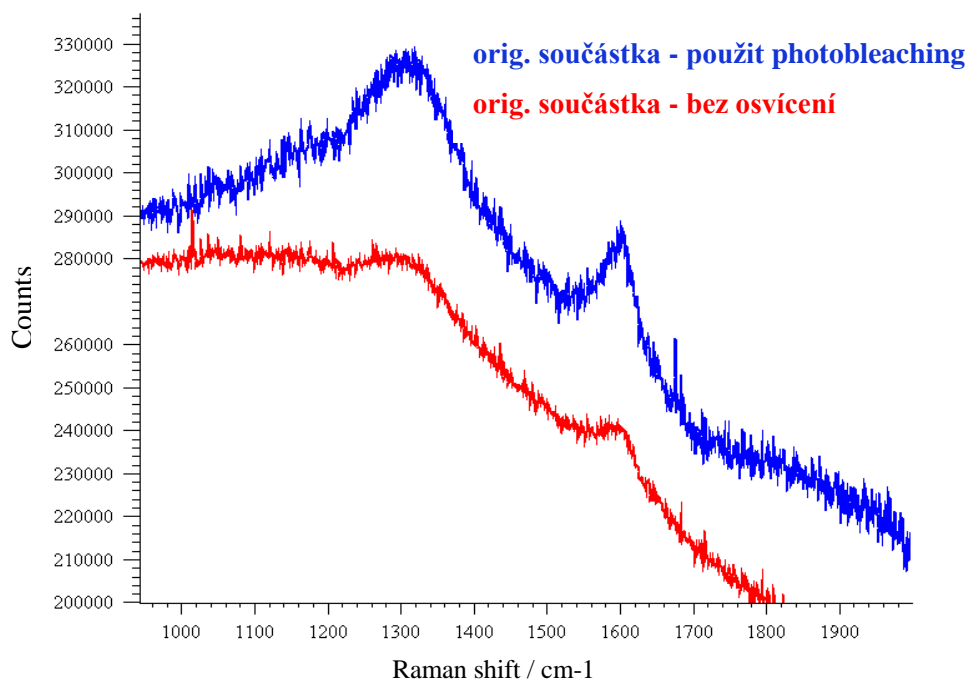
na měřený vzorek. Takové záření se nazývá excitačním. Následné záření, jež je vysíláno materiálem měřeného vzorku, se nazývá emisním. U fluorescence doba vyzařování emisního světla trvá krátkou dobu a následně po odklonění, či zhasnutí excitačního záření okamžitě emisní záření uhasíná cca 10^{-8} až 10^{-5} sekund. Naopak u fosforescence je doba trvání podstatně delší, a to od 10^{-2} sekund až několik dní. K emisi u fosforescence může docházet i dlouhou dobu po zhasnutí excitačního záření. Materiál, jenž umožňuje vznik fluorescence, se označuje jako fluorochrom.

Fyzikální podstata těchto dvou uváděných jevů spočívá především ve vlastnostech elektronového obalu atomů a molekulách látky – fluorochromu. Elektrony fluorochromu jsou schopny pohlcovat fotony excitačního záření a tím se zvýší jejich energie. Část získané energie elektron po krátké době vyzáří ve formě fotonu s nižší energií, tím pádem i delší vlnovou délkou. Emisní světlo má tedy delší vlnovou délku záření, než je vlnová délka excitačního záření (Stokesovo záření).

Fluorescence vzniká za podmínky, kdy foton z excitovaného záření nepředá dostatečné množství energie molekule zkoumaného vzorku. V případě, že dojde ke generování fluorescence, ta bývá ve většině případů natolik intenzivní, že zastíní pro nás „potřebný“ Ramanův rozptyl. Pokud je měření doprovázeno uváděnou fluorescencí, je vhodné použít metody k jejímu potlačení. [13], [24], [43]

Možné způsoby odbourání či snížení fluorescence

- V případě, že v průběhu měření vzniká nežádoucí fluorescence, je možné ji ovlivnit změnou volby laseru (excitačního zařízení) a vhodné excitační vlnové délce.
- Použitím metody Photobleaching. Působením intenzivního záření (laseru) po určitou dobu, je často vyvolán fotolytický rozklad, jenž odbourává fluorescenční molekuly a snižuje tak fluorescenční pozadí. [24]
- Volba vhodně použitých parametrů pro měření.
 - Výkon laseru [%].
 - Expoziční čas – doba, po kterou je měřený vzorek vystaven laserovému paprsku.
 - Počet akumulací – potlačení šumu, zvýraznění Ramanova signálu.



Obr. 11 Vykreslení rozdílu Ramanových spekter originální součástky při použití metody Photobleaching.

3.4 Aplikační možnosti Ramanovy spektroskopie

Ramanova spektroskopie je úspěšně využívána v mnoha průmyslových odvětvích a vědeckých oborech.

3.4.1 Nanotechnologie

Ramanova spektroskopie je běžný nástroj pro charakterizaci zkoumání fyzikálních vlastností materiálů na bázi uhlíku. Uhlík ve svém přirozeném stavu existuje v různých strukturálních modifikacích, které se liší rozdílnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Ramanova spektroskopie umožňuje získávat informace o vibračních stavech molekul uhlíku, jako mohou být například informace o velikosti molekul. Ramanovu spektroskopii lze využít v laboratoři ve fázi výzkumu, či jako nástroj kontroly kvality během výroby. [16]

3.4.2 Forezní vědy

Ramanova spektroskopie je efektivní analytický nástroj pro posuzování soudních materiálů. Používá se především k jednoznačné identifikaci neznámých látek. Oblasti aplikace zahrnují identifikaci drog, chemické látky, výbušniny či jiné předměty,

jako mohou být např. chlupy, vlákna a barvy. Přední výhodou pro oblast forenzní analýzy je ta, že se jedná o nedestruktivní techniku. Má tedy výhodu v identifikaci stopových množství látek, aniž by došlo k jakémukoli poničení důkazního materiálu. Identifikaci přes obalové materiály např. sklo, platové obaly. [16]

3.4.3 Aplikace v umění a renovaci památek, analýza uměleckých předmětů

Při zkoumání uměleckých předmětů se využívá principu Ramanovy spektroskopie k identifikaci použitého materiálu. Analytická chemie má při zkoumání kulturních památek nebo také uměleckých předmětů nezastupitelnou funkci a důležitý význam. Získané fakta a výsledky zajišťují v průběhu zkoumání odpovědi na řadu otázek týkajících se, z jakého materiálu byl zkoumaný předmět vyroben nebo také kdy byl předmět zhotoven. [16]

3.4.4 Polovodičový průmysl

Ramanova mikroskopie⁵ je účinný nástroj pro monitorování procesu výroby polovodičových zařízení. Přispívá také při výzkumu polovodičových součástek. Jedním ze základních problémů, který je potřeba překonat při výrobě polovodičů, je problém související s nedostatečným propojením jednotlivých vrstev materiálů, což může způsobit působení různých teplotních změn na materiál. Ramanova mikroskopie je schopna sledovat také namáhání materiálu, či teplotu povrchu polovodičových součástek. Dokáže identifikovat mechanické poškození a vzniklé trhliny na povrchu materiálu. [16]

3.4.5 Geologie a mineralogie

Také geologické materiály je možné zkoumat pomocí Ramanovy spektroskopie. Díky této rychlé a spolehlivé metodě je možné zjistit složení horniny či ověřit pravost drahokamu. Zkoumaný vzorek před samotným měřením nevyžaduje žádnou přípravu. Analýzu je možné provádět přímo v terénu, za pomoci mobilního spektroskopu. Ramanovu spektroskopii je možné využít v mnoha dalších vědních oborech, jako je např. petrologie⁶,

⁵ Mikroskopie je shrnující označení metody, která je využívána při práci s mikroskopem. V této práci je mikroskopie zamýšlena jako studium povrchu pouzder a rozmanitých detailů vyskytujících se u elektronických součástek.

⁶ Věda zabývající se litosférou (kamenný obal Země), zkoumá vznik, složení, vlastnosti a výskyt hornin.

mineralogie⁷, geologie⁸, paleontologie⁹, geoarcheologie¹⁰ a získat tak lepší představu vývoji Země.

3.4.6 Materiálové vědy

Ramanova spektroskopie se dnes aplikuje s rostoucím úspěchem na širokou škálu praktických problémů ve vědě o materiálech.

3.4.7 Farmaceutický průmysl

Analýza pomocí Ramanovy spektroskopie je jedním z nejvýznamnějších nástrojů, které splňují vysoké požadavky na kvalitu a přesnost kontrolních výrobních procesů u mnoha farmaceutických firem. Aplikace zahrnují monitorování a řízení rozsáhlých výrobních procesů, ale také kontrolu správné distribuce aktivních farmaceutických přísad a excipientů v různých fázích cyklu zpracování léčiv. Ramanova spektroskopie poskytuje jedinečnou analýzu polymorfních vzorků, je schopna analyzovat kapalné, či pevné vzorky. Vhodná je především v kombinaci s dalšími analytickými technikami vzhledem k tomu, že umožňuje nedestruktivní analýzu. Využití Ramanovy spektroskopie, v převážné většině případů, nevyžaduje téměř žádnou přípravu vzorků. [16]

3.4.8 Lékařství a biologie

Vibrační spektroskopie je jednou z technicky nejjednodušších způsobů, jak získat informace o chemickém složení, molekulové struktuře a také molekulárních interakcích v tkáních a buňkách. Každá změna molekulové struktury se projeví ve vibračním spektru. Pokud je tato změna charakteristická pro určité onemocnění, je touto metodou využít jako velmi účinný analytický nebo také diagnostický prostředek, a to jak *ex vivo*, tak *in vivo*. Snaha o uplatnění Ramanovy spektroskopie, jako vibrační metodě, je velmi rozsáhlá a může přispívat např. ke sledování a identifikaci patogenních mikroorganismů. Ramanova

⁷ Věda zabývající se nerosty, jejich vzhledem, vnitřní stavbou, fyzikálním a chemickým složením.

⁸ Věda o planetě Zemi a jejím povrchu.

⁹ Zabývá se studiem vývoje života na Zemi (např. pravěké rostliny a živočichové).

¹⁰ Věnuje se nejmladším historickým úsekem naší planety. Jedná se o disciplínu, která spojuje obory archeologii a geologii.

spektroskopie vykazuje citlivost při rozlišování mezi prekancerózními a normálními tkáněmi. Nežádoucí fluorescence, ke které v případě zkoumání biologických vzorků může docházet, lze vhodně eliminovat použitím Ramanových mikroskopů s ultrafialovými (UV), či blízkými infračervenými (NIR) laserovými excitacemi. [15], [16], [21]

4 MATERIÁL POUZDER ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK

Samotná součástka je často vystavována různým vnějším vlivům, které nepříznivě ovlivňují samotnou elektronickou součástku. Z takových důvodů jsou elektronické součástky opatřovány pouzdem, či nějakým ochranným krytem, který eliminuje působení nežádoucích vlivů z vnějšího prostředí. Při navrhování a výrobě elektronických součástek, ale také způsobů jejich zapouzdrění, je důležité vzít v úvahu v jakém prostředí a jaké negativní vlivy budou působit na elektronické součástky. Níže jsou uvedeny některé z vlivů působící na součástku.

Vlhkost – součástka, která není konstrukčně přizpůsobená prostředí se zvýšenou vlhkostí, může docházet ke zkratům nebo svodům, a tím k předčasnému selhání součástky.

Teplotní šok – elektrické komponenty mohou být také vystavovány teplotním výkyvům od -40°C až 125°C . Teplotních rázů je možné dosáhnout u některých konkrétních aplikací, jako např. v automobilovém průmyslu, konkrétně v modulu elektronického zapalování. Extrémní teploty mohou způsobit trhliny či jiné defekty na součástce.

Chemické látky – elektronické součástky mohou být vystaveny také různým chemickým látkám. Ty negativně ovlivňují strukturu pouzdra součástky, jako např. koroze či jiné znehodnocení materiálů působením např. solí, rozpouštědel nebo plynů. Důsledkem působení agresivní chemické látky může dojít až k postupné zkáze elektronického komponentu.

Mechanické rázy, poškození – jemná vedení uvnitř součástky, ale také např. diody, jsou náchylné na působení mechanických rázů nebo vyvíjení tlaku na součástku. S tímto jevem je možné se setkat např. v automobilovém průmyslu, kde působící rázy mohou výrazně ovlivňovat spolehlivost součástky. [18]

Uvnitř součástky integrovaných obvodů jsou umístěny elektronické obvody, díky kterým je zajištěno signálové spojení s vodiči na nosném substrátu. Větší množství různých čipů nebo elektrických obvodů používá stejný typ pouzdra. Takové struktury mohou být vyráběny standardizovaně. Navrhují se rovněž obvody, které jsou konstruovány tak, aby splňovaly nejlepší technické požadavky. Realizace takových produktů přináší vyšší náklady, které jsou spojeny s uvedením nového produktu do výroby.

Volba pouzdra a technologický způsob zapouzdrění je ovlivněn také tím, zda se jedná o součástku vyšší třídy či součástku pro běžné užití pro komerční účely. Pro jednodušší aplikace, které nevyžadují vysoké nároky na spolehlivost, jsou volena pouzdra nehermetická, ty jsou nejčastěji plastová a jejich výroba je ekonomicky méně náročná. Naopak pokud jsou na součástku kladeny vyšší požadavky, volí se zapouzdrění hermetické. Použitými materiály pro výrobu pouzder jsou kovy a keramika. [2],

4.1 Hermetická pouzdra

U elektronických součástek, které jsou v provozu vystavovány extrémním teplotním podmínkám a náročným prostředím, se i nadále dává přednost hermetickému typu zapouzdrění, před součástkami s plastovými pouzdry. Hermetická pouzdra obsahují dutinu, ve které je uložen čip, ten je připojen hliníkovými nebo zlatými drátky ke kontaktním ploškám pouzdra. Materiál pouzdra je většinou vyroben z keramiky. Vývody pro připojení s vnějším prostředím mohou být pájkové kuličky, piny z Kovaru® plátované zlatem a niklem. Dutina je uzavřena víčkem z keramiky nebo kovu.

4.1.1 Keramická pouzdra

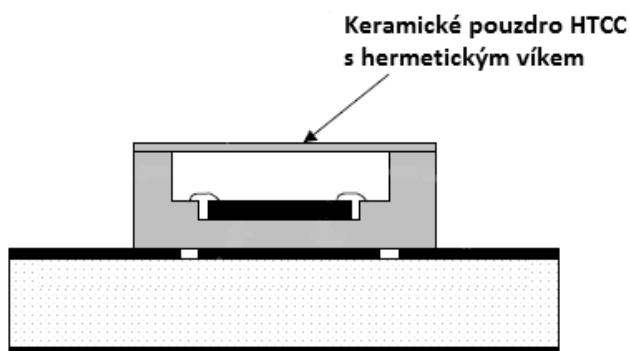
Pouzdra z keramického materiálu jsou vyrobena ještě před tím, než je do nich umístěn čip. Pouzdro obsahuje předpřipravenou dutinu, do které se vkládá před zapouzdrěním čip. Jedná se o laminovanou keramiku, kde vodivé cesty jsou vytvořeny pomocí technologie sítotisku. Jednotlivé vrstvy keramických pouzder jsou následně laminovány a vypáleny. Dále se plátují ještě propojovací vodiče na povrch, aby bylo zajištěno dobrého kontaktu mezi ploškou a drátem. Na závěr se vytvořený obvod nejčastěji uzavírá kovovým víčkem, které je připájeno zlato-cínovou pájkou, nebo keramickým víčkem se skleněnou fritou.

Keramické materiály

Obvyklé keramické materiály používané v elektronice vynikají schopností odolávat vysokým teplotám (cca 1300°C - 1500°C), dále také vysokým elektrickým odporem, vysokou elektrickou pevností, a různými dielektrickými vlastnostmi. Všeobecně lze říci, že se u keramických materiálů projevuje největší rozptyl tepelné vodivosti, která je obecně nízká, avšak některé z nich mají lepší tepelnou vodivost než kovy. Špatnou vlastností je nízká odolnost vzhledem k působení náhlých změn teplot, ale naopak jejich předností je mechanická a chemická stálost.

Mezi představiteli běžně používaných keramických materiálů jsou titaničité a křemičité keramiky či materiály na bázi berylia, oxidu hliníku nebo nitridu hliníku. Nejčastěji používaným keramickým materiálem v elektronice je tzv. korundová keramika – oxid hlinitý (Al_2O_3). Používá se jako nosný substrát, ale také jako materiál pro výrobu keramických pouzder mikroelektronických součástek a hybridních elektronických obvodů. Dříve se pouzdra vyráběla díky své tepelné vodivosti také z oxidu berylnatého (BeO), ovšem od něj se upustilo především pro jeho toxicitu.

V současné době mimo klasické, již zmíněné materiály se volí pro výrobu i jiné specifické materiály. Ty se liší od klasických materiálů svou technologií zpracování a tak i svými vlastnostmi. Mezi takové materiály patří LTCC keramika (Low Temperature Cofired Ceramic). Jedná se o nízkoteplotně vypalovanou keramiku. Vypaluje se při teplotě $850^\circ\text{C} - 875^\circ\text{C}$. Obsahuje 40% Al_2O_3 , 45% SiO_2 a zbylých 15% je obsaženo organickou složkou. Vnitřní struktura LTCC je charakterizována náhodnými defekty. Mezi její vlastnosti patří nízká tepelná vodivost, nízká mechanická pevnost, smršťování v procesu výpalu, ale naopak její velkou předností je vlastnost, že je v surovém stavu flexibilní, což umožňuje tvarování a ohýbání. Dalším specifickým keramickým materiálem je HTCC keramika (High Temperature Cofired Ceramic), což je vysokoteplotně vypalovatelná keramika. Teplota výpalu se pohybuje kolem 1300°C i více. Obsahuje z 96% Al_2O_3 , což zaručuje dosažení vhodných dielektrických vlastností. Uvedené specifické keramické materiály lze uplatnit v elektronice obecně, ale také i ve výkonové elektrotechnice, jako mohou být různé senzory. [2], [29], [30]



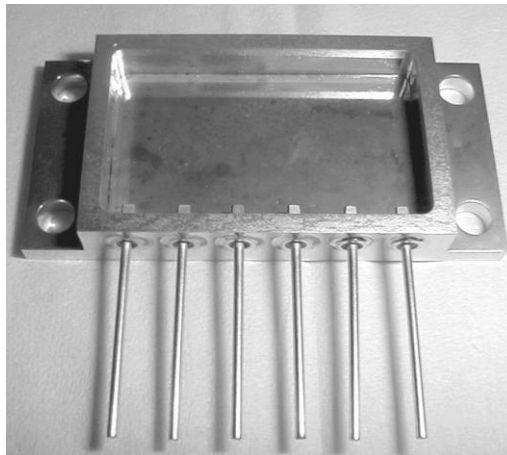
Obr. 12 Ukázka pouzdra z HTCC keramiky, které je na laminované základní desce. [29]

4.1.2 Hermetická kovová pouzdra

Jedná se o jeden z nejstarších způsobů zapouzdření elektronických součástek, kde základní část je tvořena kovovou destičkou, v níž jsou vytvořeny průchody. Těmi prochází vývody pouzdra, ty jsou umístěny nad destičkou a slouží ke kontaktování zapouzdřeného obvodu s vývody pouzdra. Vývody na opačné straně, pod základnou, slouží k zapojení na nosný substrát (k desce plošných spojů). Materiál připojovacích vývodů je nejčastěji složen z Kovaru® a průchody ze skla. Na kovovou destičku je upevněno víčko, to je nejčastěji přivařeno laserem. Výrobcům elektronických součástek jsou kovová pouzdra snadno dostupná, neboť jejich výroba je standardizovaná. [25]

Kovový materiál

Kovová pouzdra jsou nejběžnějším typem hermetických pouzder. Na výrobu kovových pouzder je volen převážně materiál ASTM F-15. Směs materiálu obsahuje 52% Fe, 29% Ni a 18% Co, je označován pod názvem Kovar®. Dále mohou být kovová pouzdra složena v kombinaci uvedeného Kovaru® a molybdenu či použitím ocelí (C12L14, C1020) válcovaných za studena. Piny jsou často z mědi, směsi mědi a slitin niklu (52 Alloy) nebo slitiny niklu a železa (52 Alloy + ASTM F-30). Piny mohou být elektrolyticky pokoveny (Ni, Au). [2], [32]



Obr. 13 Ukázka kovového pouzdra. [32]

4.2 Nehermetická pouzdra

Pouzdra jsou vyráběna ve většině případů z plastu, popř. kombinovány plastickými hmotami s příměsí křemíku. Nehermetická pouzdra nejsou tak spolehlivá jako hermetická, ale dostačují ve většině komerčních využití.

4.2.1 Materiály pro plastová pouzdra

Plastová pouzdra elektronických součástek jsou vyráběna třemi způsoby. První způsob výroby plastických pouzder elektronických součástí se nazývá lisování do formy. Elektrický obvod je uložen do formy na výrobu pouzdra elektronických součástek. Do formy je vstřikována rozežhátá plastická hmota s příměsí silikátového plniva a epoxidového pojiva, která se stává po vytvrzení účinnou ochranou mikroelektronického obvodu před nežádoucími mechanickými, elektrickými a chemickými vlivy. Při zapouzďení lisováním hrozí riziko narušení čipu, či drátovým připojením vlivem mechanické deformační síly, které mohou nastat během tepelného cyklu.

Dalším způsobem jak lze opatřit integrovaný obvod pouzdrem, je metoda zalévání, kde podstatou je zavádění roztaveného termoplastu nebo termosetu přímo do místa určení za použití kapiláry.

Posledním způsobem výroby plastových pouzder elektronických součástek je proces fluidizace. Jde o metodu, kdy sypká prášková hmota nabývá vlastností kapalin. K zapouzďení mikroelektronických obvodů jsou použité drobné částice termosetu. Nahříváním a následným máčením zahřátého substrátu dochází k usazování jednotlivých vrstev na povrchu a díky tomu je celý integrovaný obvod zapouzďen celistvým plastickým pouzdrem. Ten chrání součástku před nežádoucími vlivy.

Plastové materiály

Polymerní materiály, jež se využívají v mikroelektronice na výrobu pouzder, je možné rozdělit do tří skupin. A to na polymery, termosety a elastomery.

Dále existuje několik dalších způsobů jak polymery dál rozdělovat. Polymery je možné mísit metodami polykondenzace a řetězovou polymerizací. Polykondenzací se vyrábí např. polyestery, fenoplasty, polyamidy, polykarbonáty. Materiály vyráběné řetězovou polymerizací jsou např. polypropylen, polyetylen, polystyren, polyvinylchlorid a další běžné plasty. [2]

Termoplasty: akryly, fluoropolymery, ketonová pryskyřice, polymerní kapalně krystalné, silony, polyamide-imidy, vinyly, styreny, polyfenylen sulfidy, polyfenylen oxidy, polyolefiny, polyimidy, polyethermidy, polykarbonáty.

Termosety: allylové pryskyřice, bismaleimidy, epoxidové pryskyřice, fenolové pryskyřice, polyestery, polyuretany, silikony, síťované termoplasty, kyanátová ester pryskyřice.

Elastomery: přírodní kaučuk, izoprenová pryž, akryl elastomery, butadien elastomery, epichlorhydrin elastomery, karboxylové elastomery, neopren, chlórsulfonát polyetylen, ethylen-propylen terpolymer, ethylen-propylen kopolymer, fluorovaný elastomer, Butylkaučuk, nitrilový kaučuk, Kopolymery polyvinylchloridové, silikonové elastomery, polysulfidy, polyuretany.

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 Srovnání pryskyřic na výrobu pouzder elektronických součástí [2]

Package Structural Element	Selected Options		
Leadframe packages			
Leadframe metal	Alloy 42	Kovar	Copper
Leadframe inner lead finish	Silver	Gold	Palladium
Wire	Gold	Aluminum	Copper
Encapsulant	Epoxy	Silicone	Polyimide
Leadframe outer lead finish	Solder	NiPd	Gold
Laminate packages			
Laminate type	BT	Polyimide	High-temp FR4
Redistribution metal	Copper	Gold	Nickel
Wire	Gold	Aluminum	Copper
Encapsulant	Epoxy – molded	Epoxy – glob top	Epoxy – underfill
Inner I/O finish	Gold	Nickel palladium	Silver
Outer I/O finish	Solder ball	Nickel gold	Silver
Ceramic packages			
Substrate	Alumina	Aluminum nitride	Beryllia
Metal	Thin film copper	Thick film copper	Thin film gold
Wire	Gold	Aluminum	Copper
Finish	Au	Solder	Ni Pd
Encapsulant	None (lidded)	Silica gel	Epoxy – underfill
Wafer-level packages			
Build-up polymer	BCB	Polyimide	Epoxy
Redistribution metal	Copper	Aluminum	Gold
Encapsulant	Epoxy	Silicone	BCB
Bump contacts	Solder	Copper	Nickel gold

Obr. 15 Příklady materiálů využívající se na výrobu pouzder elektronických součástek [28]

4.3 Materiál LED diod

LED dioda je polovodičová součástka obsahující P-N přechod, která je využívána v široké řadě aplikací. U diod jsou základní monokrystaly překryté epoxidovou pryskyřicí nebo akrylovým polyesterem do tvaru kulového vrchlíku, popřípadě jiného požadovaného tvaru. Materiály, z nichž se LED vyrábějí, mají poměrně vysoký index lomu a velká část emitovaného světla by se odrážela totálním odrazem zpět na rovinném rozhraní se vzduchem.

Materiál: epoxidová pryskyřice, akrylátový polyester.

5 ANALYTICKÉ METODY PRO ANALÝZU MATERIÁLU

Existují také další analytické metody, jež se volí pro objasnění složení materiálu a vlastností látek měřených vzorků. Tyto metody lze rozdělit na destruktivní a nedestruktivní. Níže je pro názornost uvedeno několik metod, které mohou přispět k získání informací o vlastnostech materiálu, z nichž jsou pouzdra elektronických součástek vyráběna.

5.1 Destruktivní metody

Destruktivní metody jsou metody, které nevratně poškodí zkoumaný vzorek. Naruší jeho strukturu, použitelnost, popřípadě jeho další vlastnosti. Vzorky často vyžadují chemickou úpravu (rozpuštění, leptání, rozemletí na jemný prášek). Mezi metody, které pro měření vyžadují úpravu vzorku, je možné zařadit atomovou absorpční spektroskopii (AAS), všechny chromatografické metody, spektroskopie s indukčně vázanou plazmou a další.

Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Jedná se o optickou metodu založenou na měření absorpce elektromagnetického záření, které je v rozmezí vlnových délek 190-850 nm. Metoda je využívána pro stanovení výskytu kovových prvků v měřeném vzorku.

Pro měření pevných vzorku je nejdříve nutné tyto vzorky převést rozkladem či výluhem do formy roztoku.

Hmotnostní spektrometrie (ICP-MS)

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je ultrastopová analytická metoda, která slouží ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v měřeném vzorku. Tato analytická technika umožňuje detekovat téměř všechny prvky v analyzovaném vzorku s vysokou citlivostí až ppt¹¹ po stovky ppm¹². Je využívána všude tam, kde je vyžadována velmi vysoká citlivost analýz. Mezi její výhody patří rychlost analýzy a schopnost relativně přesné detekce velkého množství prvků v měřeném vzorku.

¹¹ Parts per trillion = v chemii určuje počet částic na jeden bilion.

¹² Parts per million = označení pro jednu miliontinu (celku).

Díky tomu je metoda uplatňována v oblasti biologie a medicíny, při kontrole potravin a léčiv. Dále také v průmyslových aplikacích při výrobě polovodičů, v chemickém či sklenářském průmyslu a také v metalurgii.

Přípravu pevných vzorků pro analýzu materiálu využitím hmotnostní spektrometrie je možné využít: erozi elektrickým obloukem či jiskrou a laserovou ablací. [41], [44]

Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie označovaná jako (IR, IČ spektroskopie). Je obdoba Ramanovy spektroskopie. Použitím obou zmíněných analytických metod je umožněno studovat přechody mezi vibračními stavy molekul v základním elektronovém stavu. IČ spektroskopie je metoda, která je využívána především pro identifikaci a strukturální charakterizaci organických směsí a anorganických látek. IČ spektroskopie zkoumá absorpční pásy v infračervené oblasti elektromagnetického spektra. Vzniklé změny ve spektrech odpovídají změnám pohybu vibračních stavů chemických vazeb a jejich energetických stavů molekul zkoumané látky. K těmto změnám dochází v okamžiku, kdy zkoumaným vzorkem prochází infračervené záření. Je možné měřit velmi malé vzorky, a to jak v pevném, kapalném, ale i plynném skupenství.

Kompaktní vzorky bývají mlety ve vibračním mlýnku s KBr. Namletý prášek je následně lisován do tenké tablety a tak je vzorek připraven k analýze. [40]

Leptání

Do skupiny destruktivních metod je možné začlenit i metodu selektivního „otevírání“ pouzdra. Plastové pouzdro je za pomoci kyselin nebo laserového paprsku (mokrý a suchá cesta) odleptáno tak, aby byl čip i jeho propojení s kontaktním systémem zpřístupněno pro detailní vizuální a mikroskopickou analýzu. Takto odhalený čip je připraven např. k analýze povrchu čipu. Dále také je umožněna kontrola způsobu propojení čipu, zda odpovídá popisu součástky. Metoda selektivního „otevření“ pouzdra je často doplňována rentgenovou analýzou. [39]

5.2 Nedestruktivní metody

Elektronová mikroskopie a mikroanalýza (SEM a EDS)

Povrch pouzder elektronických součástek je možné zkoumat i použitím elektronového mikroskopu. Ten je schopen poskytnout kompletní informace o chemickém složení, mikrostruktuře a dalších vlastnostech zkoumaného vzorku. Velkou předností SEM, v kombinaci se světelným mikroskopem, je při zkoumání velmi hluboká ostrost. Skenovací mikroskop se nazývá také rastrovací nebo česky řádkovací, což také značí, že při práci mikroskopu se primární svazek pohybuje po konkrétní ploše povrchu zkoumaného vzorku.

Elektronová analýza (EDS) umožňuje zjistit prvkové zastoupení zkoumaného materiálu o ploše velikosti pod 1 mikron. [42]

Rentgenová fluorescence (XRF), Rentgenofluorescenční analýza (RFA)

Rentgenová fluorescenční analýza je jedna z nejlepších analytických technik pro elementární analýzu rozmanitých druhů vzorků. Analýza je nedestruktivní a umožňuje analyzovat téměř jakýkoli vzorek bez úpravy. Jediným omezením je velikost zkoumaného vzorku, která je daná velikostí vakuové komory. Umožňuje provádět kvalitativní i kvantitativní analýzu zkoumaných vzorků. Tato analytická metoda je schopna měřit vzorky v kapalném, pevném, ale i práškovém stavu.

Zkoumaný vzorek je ozářen nízkoenergetickým zářením gama a následně je tak ve vzorku vybuzeno charakteristické záření. Detekcí tohoto vybuzeného záření a následující zpracování naměřeného spektra je možné získat informaci o prvkovém zastoupení zkoumaného vzorku.

Metoda je často využívána při analýze materiálového složení slitiny pokovení vývodů, zda neobsahuje dle direktivy RoHS nebezpečné látky (kadmium, rtuť, olovo, šestimocný chróm, polybromované bifenyly -PBB, polybromované difenylethery – PBDE). [22], [37], [38]

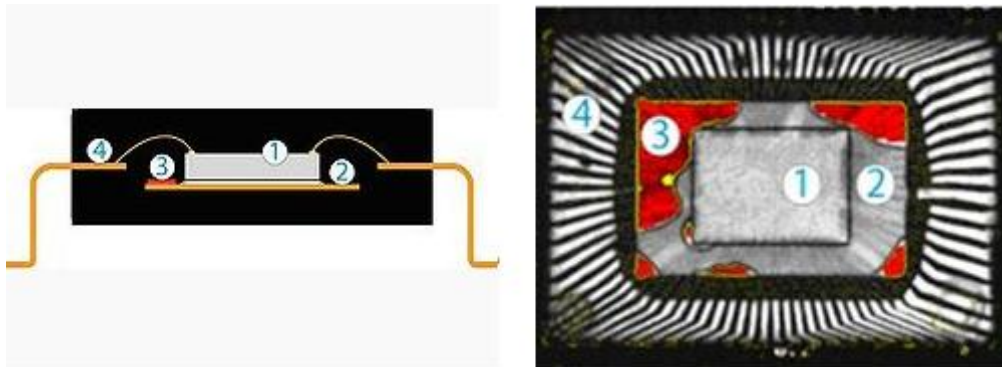
Akustický mikroskop (SAM)

Skenování pomocí akustické mikroskopie (SAM) je nedestruktivní metoda umožňující zkoumání materiálových vlastností na rozhraní odlišných materiálů. Technika využívá ultrazvukových vln, které jsou odraženy od zmíněného materiálového rozhraní. Metoda

SAM je uplatňována při kontrole elektronických součástek, zda neobsahují latentní defekty uvnitř součástky ve formě dutin či trhlin jako je demonstrováno i níže na *Obr. 16*. V některých případech uváděná metoda může sloužit pro ověřování složení materiálu součástky. Zda materiál splňuje určité specifika či nikoli a rozpoznat tak padělanou součástku. Akustická mikroskopie je využívána i v jiných oblastech, jako je např. lékařství a biologie (zkoumání pružnosti buněk). [26]

Běžné aplikace:

- Detekce trhlin a dutin vzniklé během výrobního procesu,
- možnost detekce materiálů pouzder elektronických součástek (plastu, keramiky),
- posuzování neporušitelnosti pečetí, nebo hermetických pouzder.



Obr. 16 Zobrazení vrstev materiálů na odráženém rozhraní pomocí SAM [27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI PRÁCE

V praktické části diplomové práce byly studované pouze vybrané vzorky pouzder elektrických součástek prostřednictvím analytické metody Ramanovy spektroskopie. Experimentální část byla realizována v laboratoři FAI UTB ve Zlíně, která je vybavena Ramanovým mikroskopem od firmy Renishaw, modelem inVia Basis viz *Obr. 17*, jež disponuje dvěma lasery s excitační vlnovou délkou 514nm, viditelná oblast a 785nm, blízká infračervená oblast.

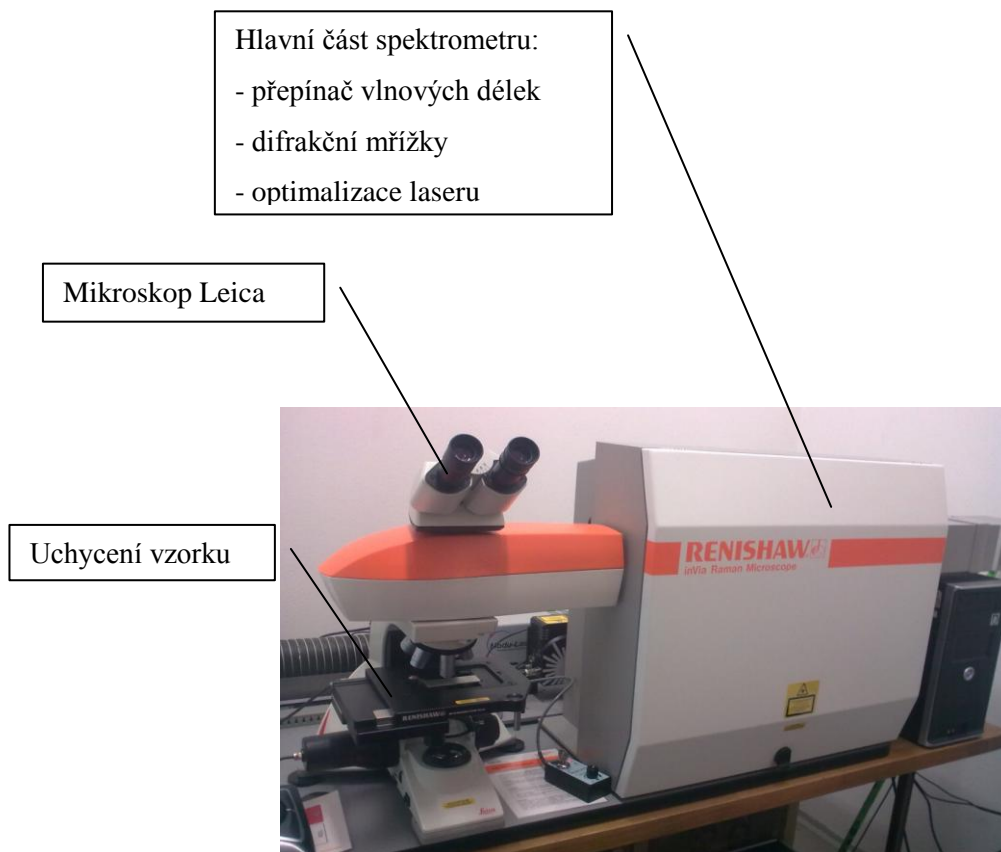
Cíle pro praktickou část diplomové práce:

- pokusit se na vybraných vzorcích součástek a materiálů experimentálně nalézt podmínky pro analýzu Ramanovou spektroskopií,
- vyhodnotit a diskutovat získané experimentální výsledky, navrhnout možné postupy zaměřené na možnosti využití Ramanovy spektroskopie při rozpoznávání některých znaků nepůvodních součástek a materiálů.

Dále jsou popsány postupy měření, a následně jsou uvedené také získané výsledky z průběžného měření.

6.1 Instrumentace

Při experimentálních měřeních jsem pracoval s Ramanovým mikroskopem inVia Basis. Přístroj disponuje argonovým iontovým laserem s vlnovou délkou 514nm s maximálním výstupním výkonem 20mW a druhým diodovým laserem 785nm o maximálním výstupním výkonu 300mW. Součástí Ramanova mikroskopu je i konfokální mikroskop Leica s možností volby objektivu pro 5x, 20x a 50x násobné zvětšení, díky kterému je realizováno rychlé zaostření na požadovaný detail. Přístroj umožňuje práci v různých snímacích a skenovacích režimech s vysokou citlivostí. Tyto režimy a možnosti (funkcí) měření je možné ovládat pomocí softwarového prostředí programu WiRE 3.2. Výstup měření je v podobě Ramanových spekter, to znázorňuje intenzita Ramanova rozptylu na ose y a na ose x je znázorněn Ramanův posuv. Rozhraní posuvů je od 100 do 3200 cm^{-1} .



Obr. 17 Ramanův mikroskop inVia Basic značky Renishaw.

Části Ramanova mikroskopu:

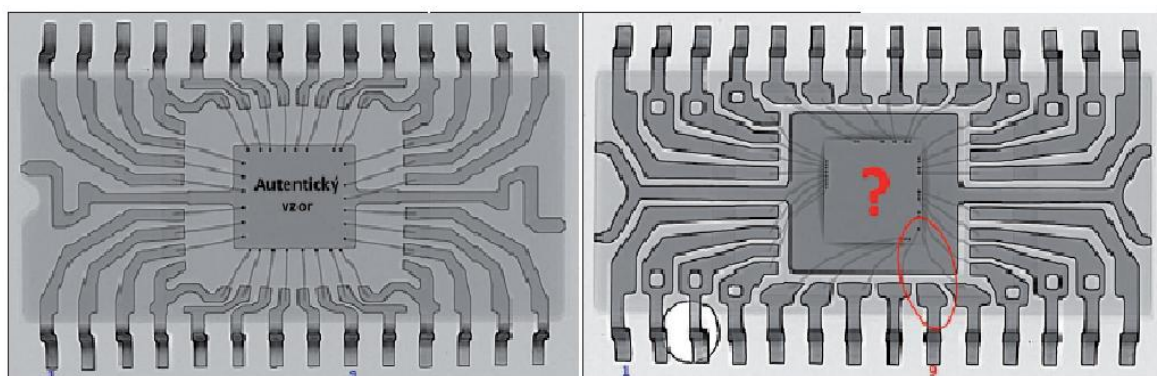
- laser s vlnovou délkou 514nm a 785nm,
- mikroskop,
- filtry (holografické a dielektrické), které slouží pro odfiltrování celého světelného spektra kromě úzkého svazku záření potřebného k Ramanovu rozptylu,
- difrakční mřížka člení rozptýlené Ramanovo světlo do jednotlivých vlnových délek,
- CCD kamera
- PC (nastavení parametrů přístroje, úprava naměřených spekter).

6.2 Výběr zkoumaných vzorků

V experimentální části byl zkoumán materiál pouzder elektronických součástek. Prvotně jsem vybral náhodné elektronické součástky různých typů a materiálů pouzder, u kterých jsem se snažil určit použité materiálové složení. Později jsem se soustředil pouze na několik podnětně vybraných vzorků.

Procesor typ pouzdra SOIC

Výběrem konkrétního vzorku pro měření byla zvolena součástka typu procesor, která je uložena v pouzdře SOIC s 28 vývody. Impulzem, pro volbu prověření složení materiálu pouzdra uvedené součástky s použitím Ramanovy spektroskopie, byly právě zjištěné výsledky předchozích analýz. Součástka byla zaznamenána jako nefunkční až po montáži do modulu. Procesor byl následně testován na elektrickém testeru SentryCounterfeit IC Detector viz kapitola 2.2 *Měření voltampérových charakteristik*, na němž zkouška odhalila chybu v napojení na vývodu č. 9. Dále byla součástka podrobena doplňující analýzou použitím mikro-ohniskového rentgenu CT, která odhalila vnitřní strukturu analyzované součástky. Na obrázku níže je zobrazena struktura propojovacího systému a čipu nepůvodní součástky, která se výrazně liší provedením kontaktního pole i propojení čipu s vývody od originální součástky. [34]



Obr. 18 Ilustrace rentgenových snímků (vpravo) originální a (vlevo) nepůvodní součástky.

[34]

LED diody

Dále jsem do mé práce začlenil i vzorky různých LED diod, u nichž jsem se zaměřil na použitý materiál, který překrývá monokrystal. Snažil jsem se zjistit, zda je možné pomocí Ramanovy spektroskopie odhalit složení materiálu, ať už různých barev, nebo také typu LED diod.

6.3 Popis postupu měření

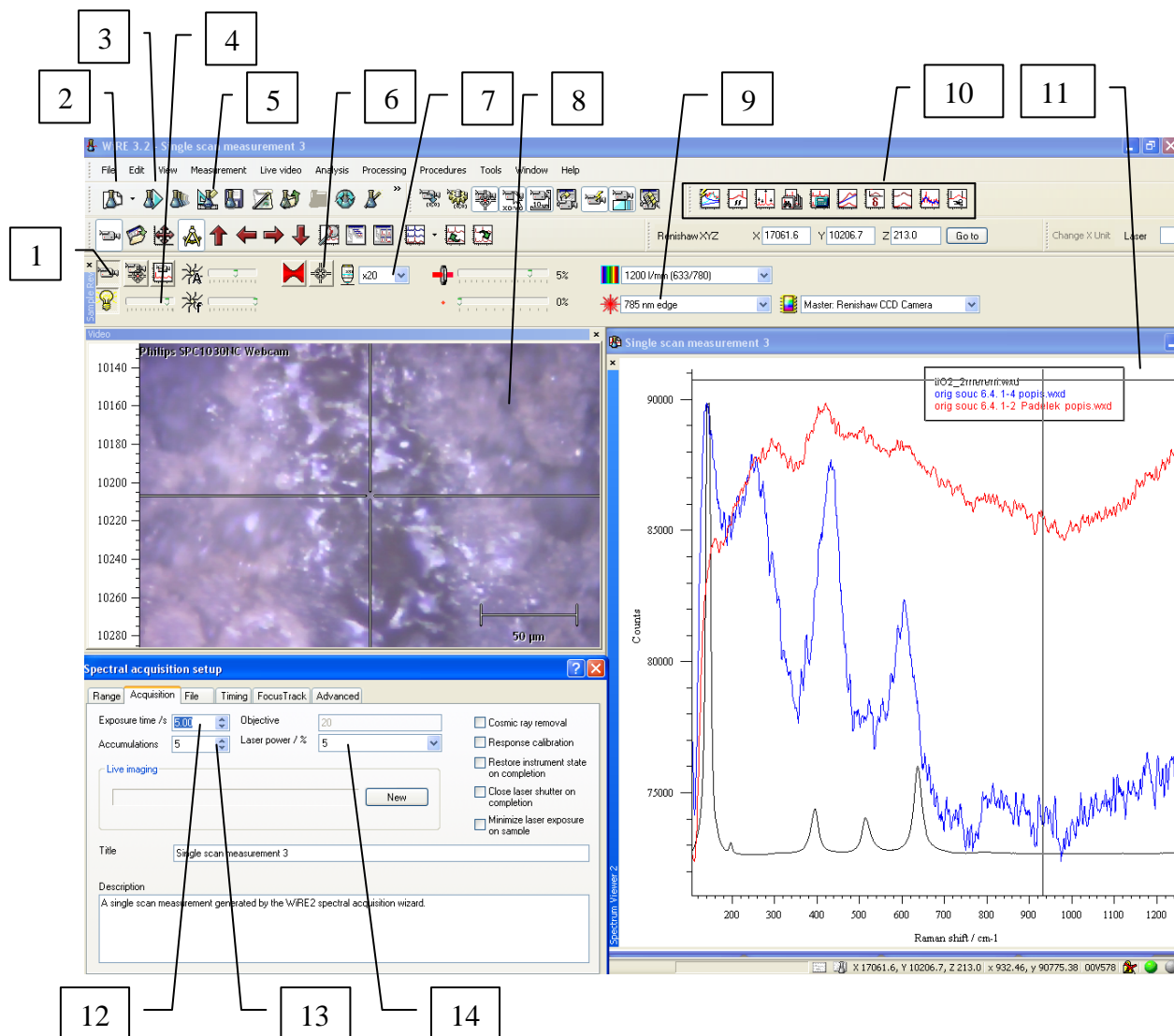
Realizace experimentálního měření byla provedena primárně na základě objasnění teoretických poznatků a následného prostudování příručky k Ramanovu mikroskopu inVia Basic od firmy Renishaw. Získané znalosti byly aplikovány v praxi při měření vybraných vzorků. (Níže je uveden postup při měření v jednotlivých bodech.)

1. Spustíme na počítači program WiRE 3.2, jenž umožňuje ovládání Ramanova mikroskopu a volbu vhodných parametrů pro měření.
2. Měřený vzorek upevníme do držáků mikroskopu.
3. Zvolíme objektiv s vhodným zvětšením. Zapneme si v programu osvětlení vzorku. Pomocí ovládacích prvků na mikroskopu zaostříme objektiv na požadované místo - plochu povrchu měřené součástky. Na citlivé doostření je možné využít joystick.
4. V programu WiRE 3.2 spustíme kameru, která přenáší snímání obraz z mikroskopu přímo do okna prostředí programu viz. *Obr. 19*, bod 8.
5. Jakmile je zkoumané místo zaostřené, nastavíme v programu WiRE 3.2 parametry pro měření, kde volíme typ snímání static/extend, počet akumulací, intenzita laseru, expoziční čas a další. Nastavení uložíme. Při měření je vhodné pracovat v prostoru s minimem světla. Z tohoto důvodu před měřením vypneme osvětlení, které by mohlo negativně ovlivňovat pořízené výsledky.
6. Ikonou RUN spustíme měření (v průběhu měření se v programu vykresluje získané spektrum měřeného vzorku).
7. Pomocí programu lze získaná výsledná spektra upravovat. Je možné např. vyhlazovat křivky pomocí funkce SMOOTH, ale také další funkce, která zobrazuje hodnoty jednotlivých píků, vkládání dalších spekter pro porovnání nebo možnosti úpravy týkajících se vzhledu grafu.
8. Závěrečnou částí analýzy může být porovnání s referenčními spektry, jež jsou obsaženy v příslušných databázových knihovnách. Ty se mohou dělit z hlediska použití či oblasti materiálů.

6.4 Prostředí programu WiRE 3.2

Firma Renishaw dodává ke svým měřicím zařízením také softwarové nástavby.

Níže je zobrazeno prostředí softwaru WiRE3.2.



Obr. 19 Prostředí softwaru WiRE 3.2.

1. Ovládání kamery.
2. Nástroj pro nastavení parametrů při měření.
3. Spuštění měření.
4. Intenzita osvětlení snímací kamery.
5. Volba parametrů pro nadcházející měření. (Typ snímání static/extend a další.)
6. Spuštění a vypnutí laseru.

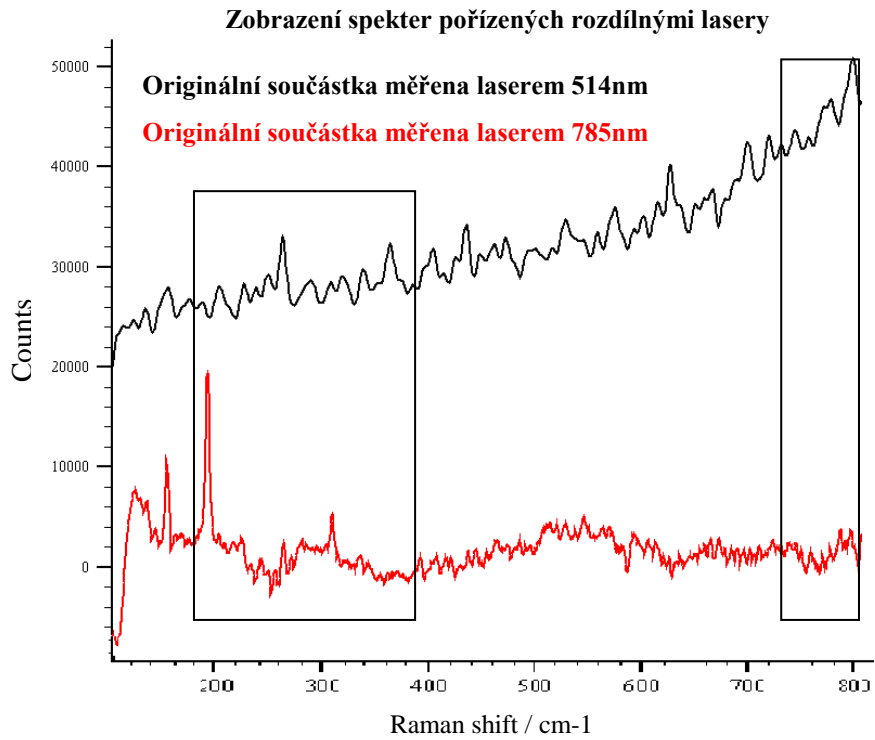
7. Možnost volby zvětšení. (Volí se při posunu snímání jiného místa.)
8. Vyobrazené místo měřeného vzorku.
9. Volba laseru.
10. Nástroje pro úpravu naměřených spekter.
11. Naměřená spektra.
12. Volba expozičního času.
13. Volba počtu akumulací.
14. Intenzita laseru [%].

6.5 Naměřená spektra

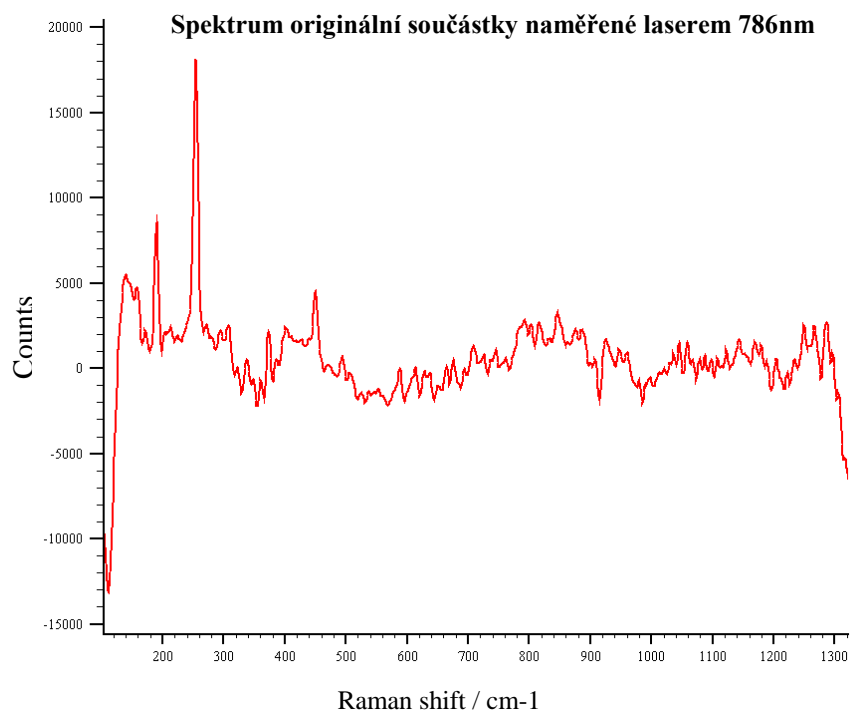
6.5.1 Naměřená spektra procesoru

Jak již bylo zmíněno, v experimentální části je snahou nalézt rozdíly ve složení materiálů konkrétních výrobků. Každému materiálu odpovídá odlišné spektrum, tudíž potenciální rozdíly by se měly v ideálním případě projevovat odlišnými pozicemi tzv. píků. Při porovnávání referenčního materiálu naměřeného spektra originální součástky s naměřeným spektrem nepůvodní (podezřelé) součástky, je možno zvažovat jiné složení materiálu použitého na výrobu pouzdra elektronické součástky.

Níže je ilustrováno získané Ramanovo spektrum originální součástky. Na *Obr. 21* je možné zpozorovat rozdíly v naměřených spektrech pořízené rozdílnými vlnovými délkami laseru. Na měření byl použitý prvotně laser o excitační vlnové délce 514nm, avšak pořízená spektra byla provázena nežádoucí fluorescencí. Později byl Ramanův spektroskop rozšířen o další laser o vlnové délce 785nm, z něhož je v mé práci použita převaha výsledných spekter.

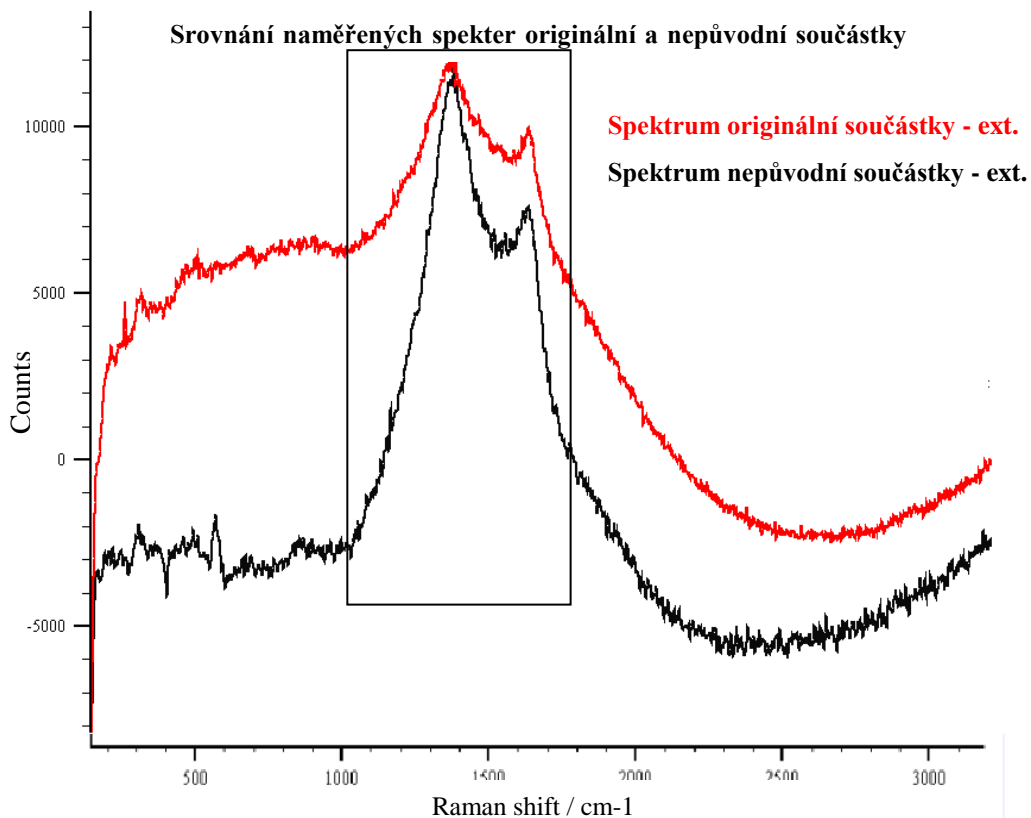


Obr. 20 Obrázek ukazuje porovnání naměřených spekter, která jsou pořízena lasery s rozdílnými vlnovými délkami.



Obr. 21 Originální součástka, měřeno laserem 785nm NIR, typ snímání - static.

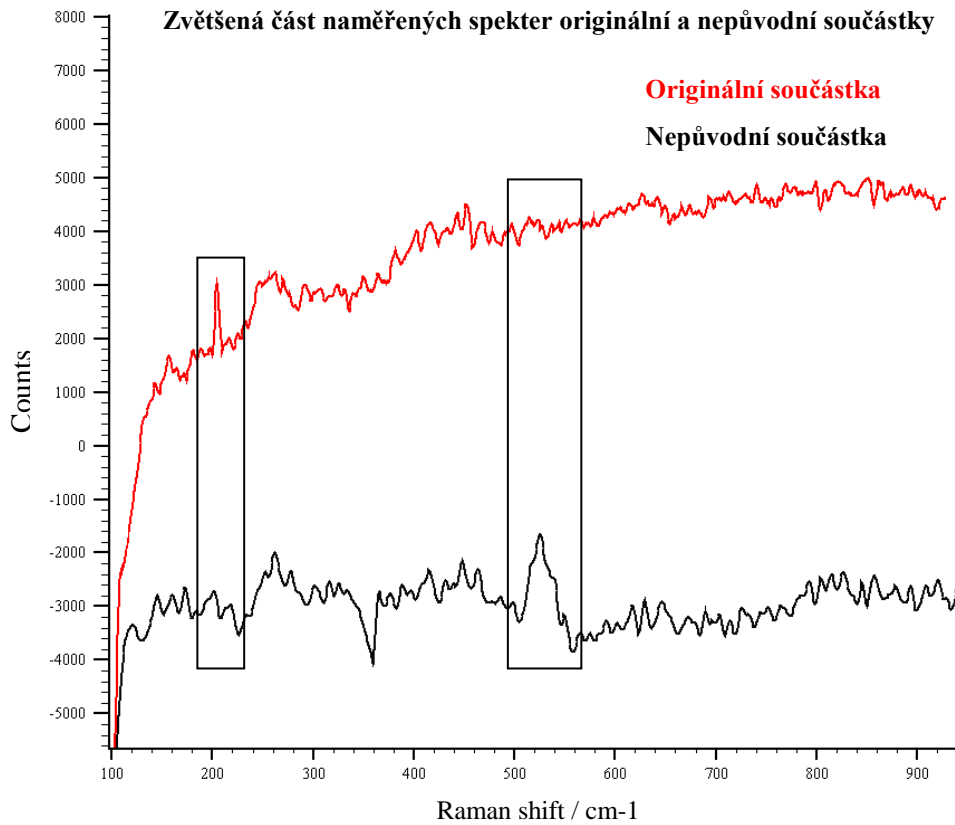
Níže na *Obr. 22* jsou uvedena spektra k porovnání. Byla naměřena laserem s vlnovou délkou 785nm a typem snímání extend. Spektrum vykresleno červenou barvou odpovídá originální součástce, černou barvou je vykresleno spektrum nepůvodní součástky. Na obrázku je vyznačena část, která se shoduje se spektrem uhlíku. Saze, jež jsou příměsí materiálu pouzdra, obsahují uhlík.



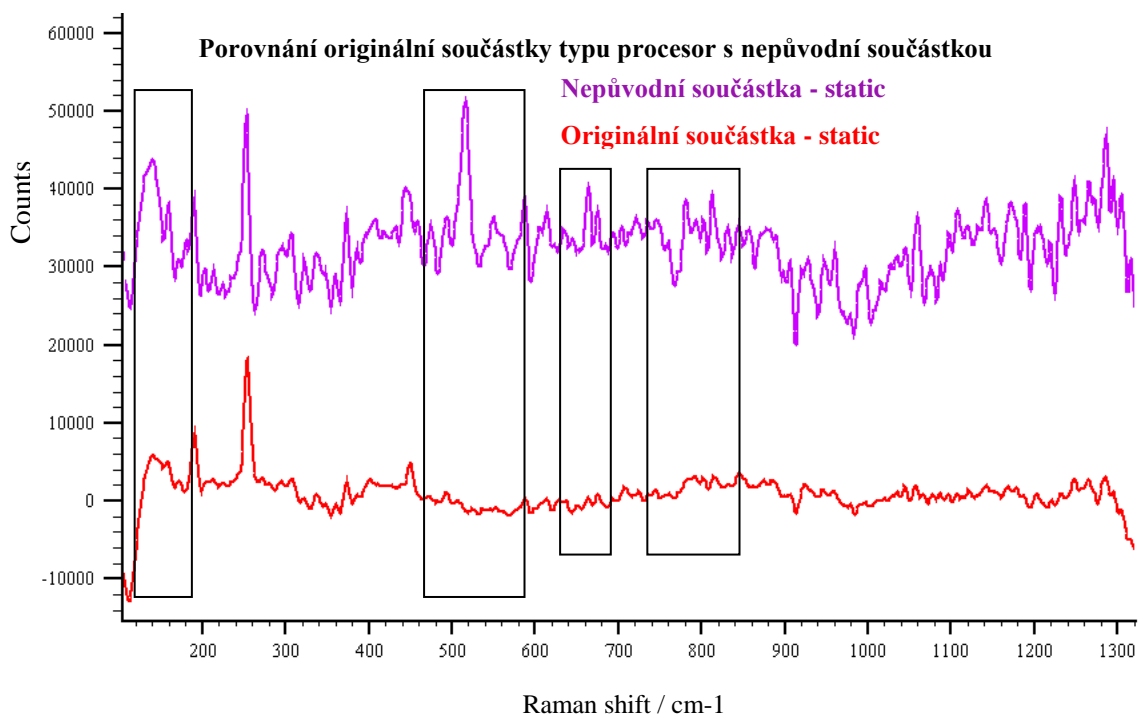
Obr. 22 Porovnání naměřených Ramanových spekter originální a nepůvodní součástky, typ snímání – extend.

Na následujícím *Obr. 23* je demonstrována zvětšená část pořízených spekter předešlého obrázku, na kterém jsou při porovnání vyznačeny rozdílné oblasti vlnočtu spekter jednotlivých materiálů součástek.

Obr. 24 opět uvádí rozdíly ve spektrech jednotlivých materiálů. Rozdílné oblasti vlnočtu Ramanova posunu jsou vyznačeny. Absence píků ve vybraných oblastech, obzvláště kolem 520cm-1 je jednoznačné.



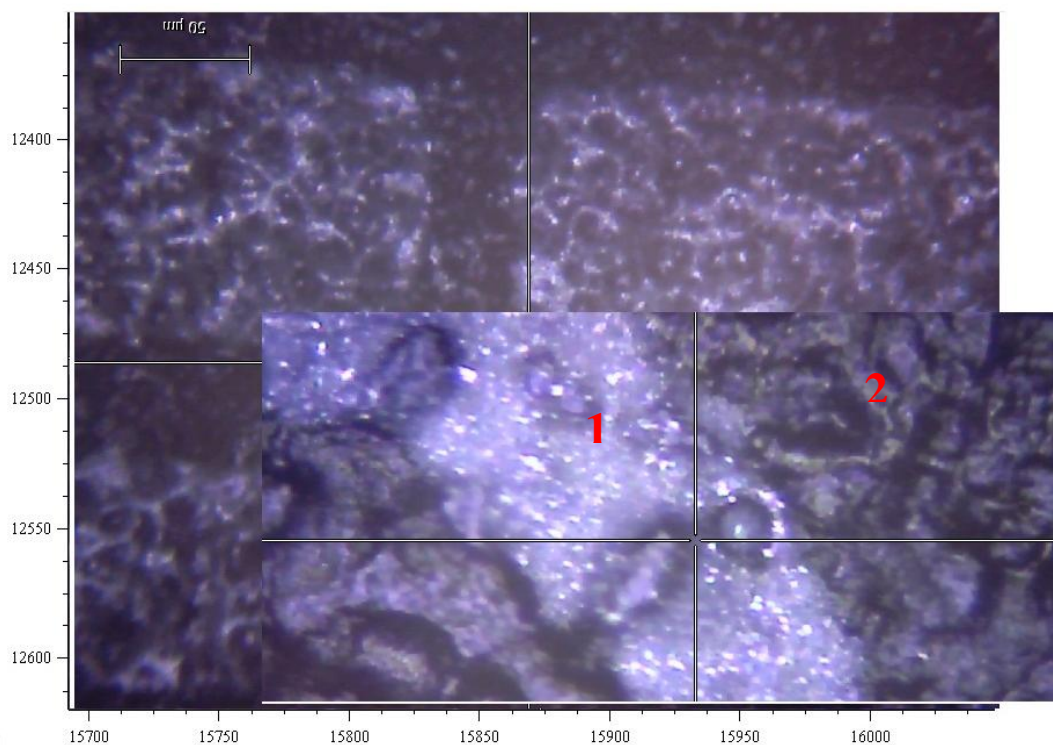
Obr. 23 Zvětšená část předchozího Obr. 22, která zobrazuje naměřená Ramanova spektra originální a nepůvodní součástky.



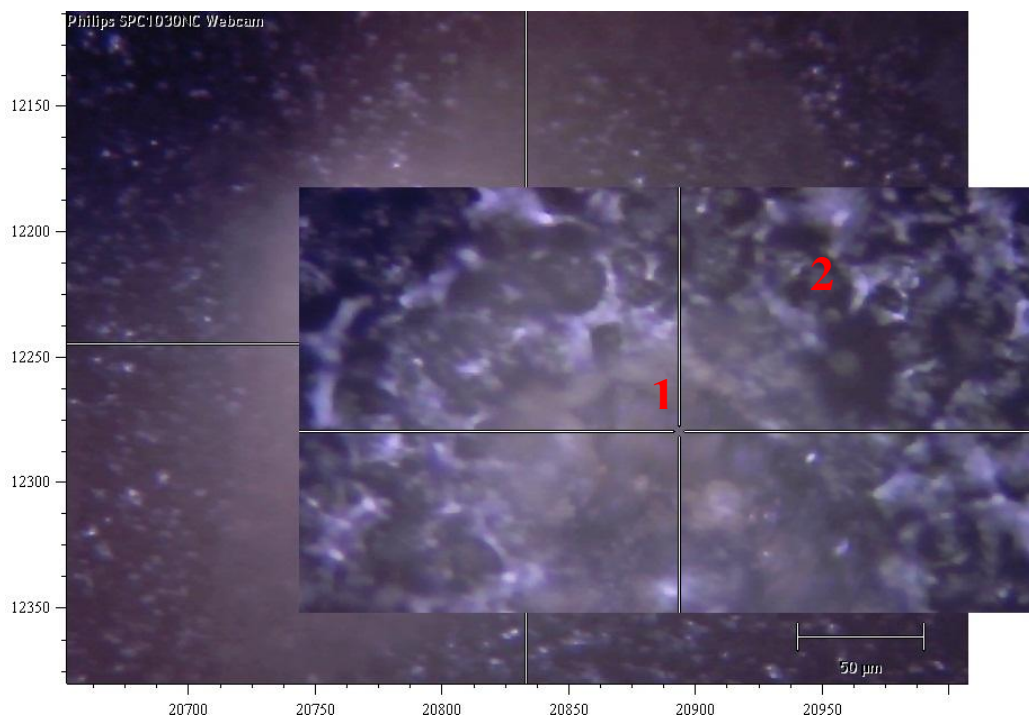
Obr. 24 Obrázek znázorňuje naměřené Ramanovo spektrum originální a nepůvodní součástky, typ snímání – static.

Následující obrázky byly pořízeny prostřednictvím kamery připojené k Ramanovu mikroskopu. Obrázky znázorňují strukturu povrchu pouzdra měřeného procesoru. I povrch pouzdra jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, může při srovnání textury povrchu originální součástky vypovídat o potenciálním padělků. Kde nepůvodní součástka může být opatřena vrstvou materiálu, která může skrývat označení původní součástky, taková metoda se nazývá blacktopping.

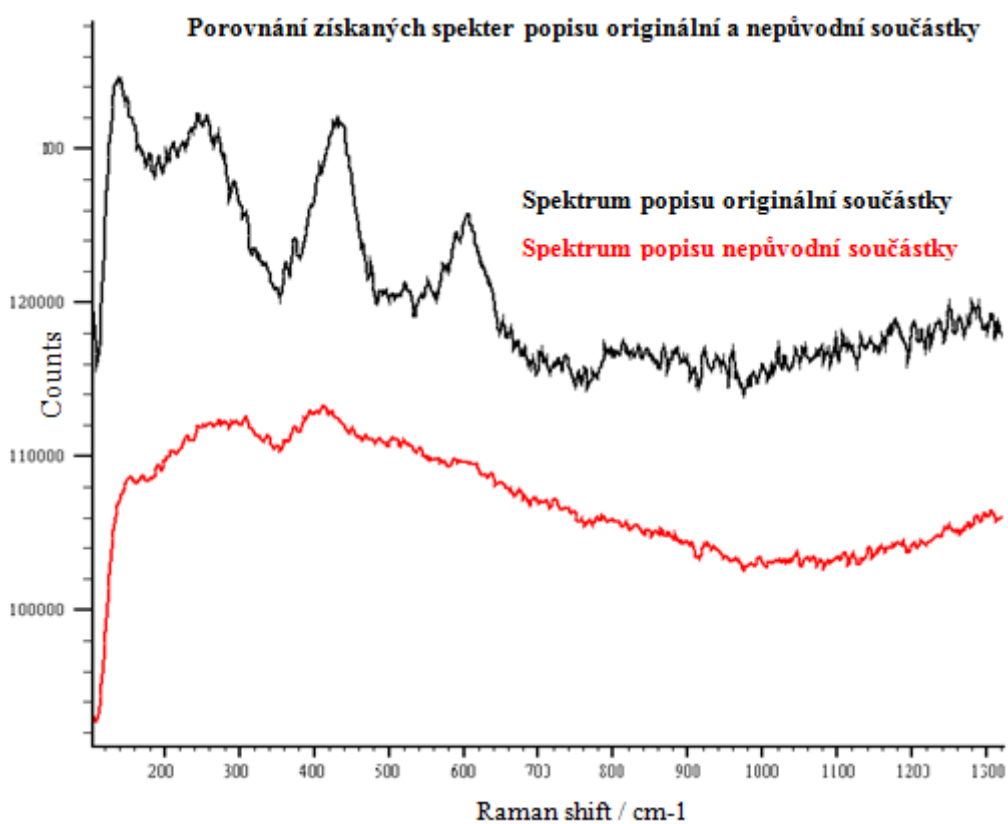
Na obrázcích je vidět zvětšený popis na povrchu pouzdra součástky procesoru. I při stejném zvětšení obou částí povrchu součástek je možné při jejich porovnávání usuzovat, že struktura povrchu se liší.



Obr. 25 Ukázka 5x a 20x zvětšené struktury povrchu pouzdra originální součástky. 1 – označení součástky, 2 – struktura povrchu



Obr. 26 Ukázka 5x a 20x zvětšené struktury povrchu pouzdra nepůvodní součástky. 1 – označení součástky, 2 – struktura povrchu

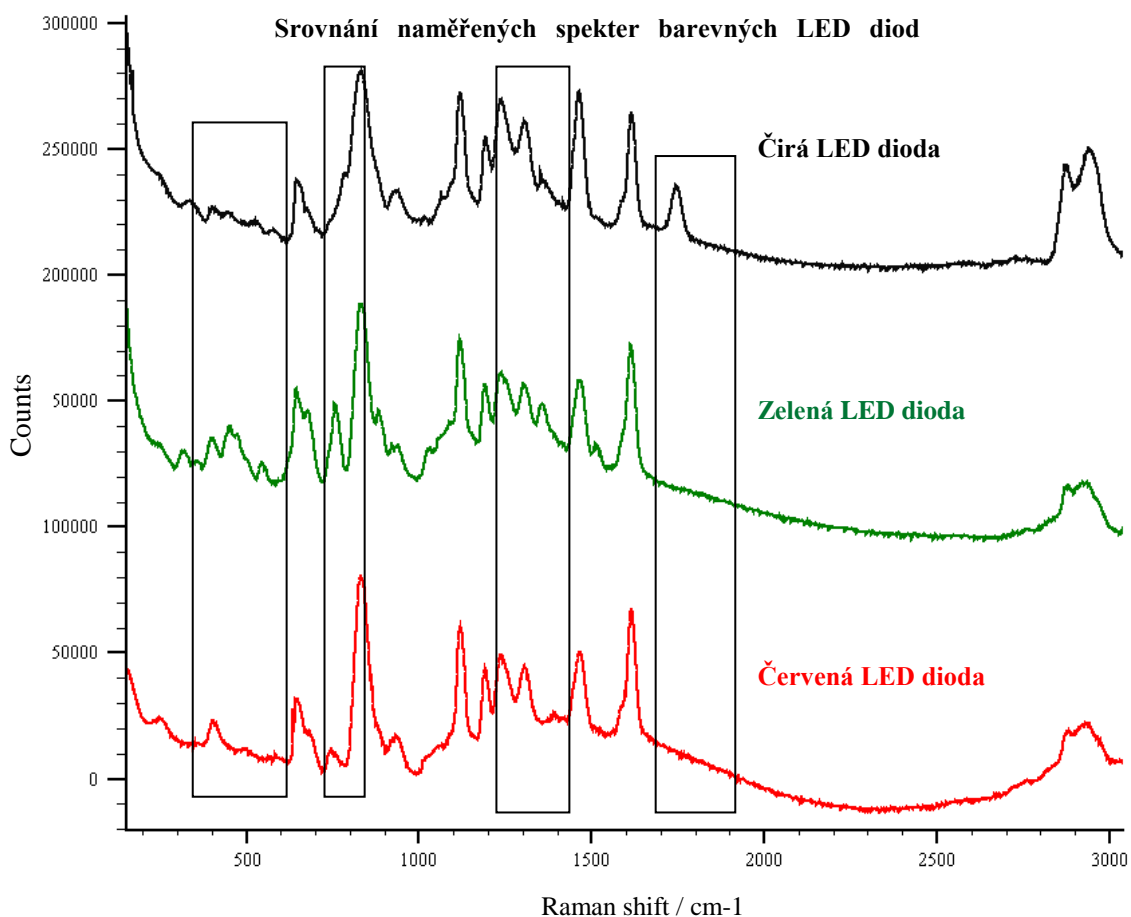


Obr. 27 Naměřená spektra označení originální a nepůvodní součástky typu procesor, u kterých jsou vidět zjevné rozdíly. Typ snímání - static.

6.5.2 Naměřená spektra LED diod

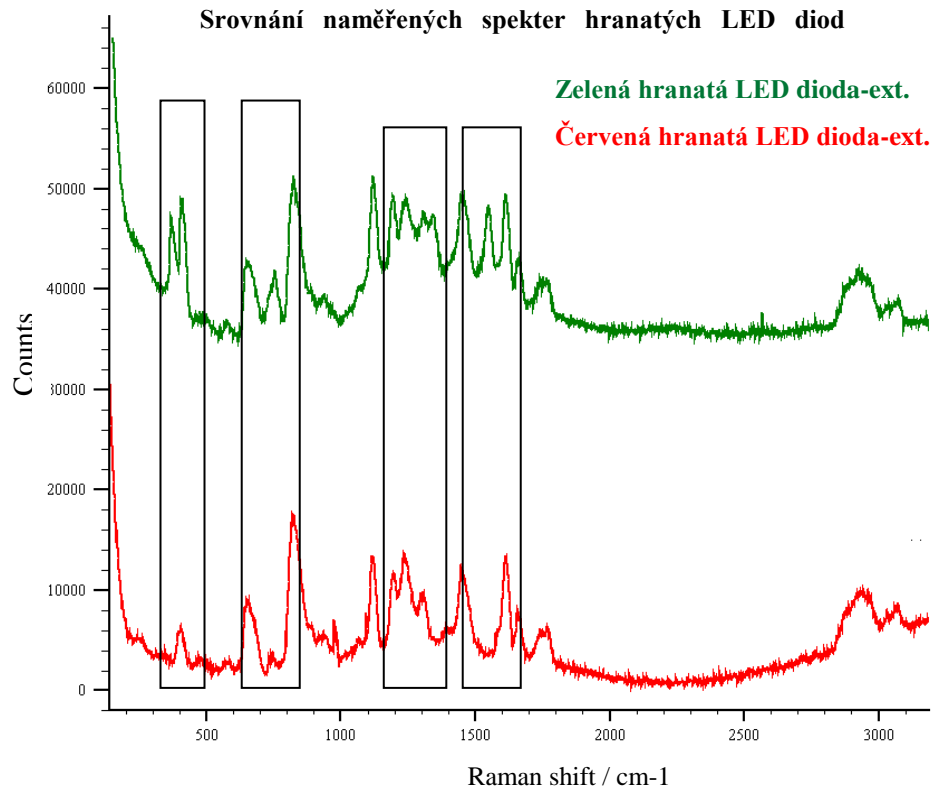
Na dalších obrázcích jsou ilustrována naměřená spektra měřených LED diod. Pro porovnání jednotlivých spekter, tedy i materiálu, jsou voleny rozdílné barvy i odlišné typy LED diod.

Na následujícím obrázku jsou vyobrazena spektra LED diod stejného typu, ale rozdílné barvy. Při porovnání získaných spekter, lze usuzovat, že barevné příměsi ovlivňují strukturu rozložených čar ve spektrech. Především u čiré diody, kde naměřené spektrum se výrazně liší od naměřených spekter barevných LED diod. Na obrázku jsou tyto rozdíly v různých částech vlnočtu vyznačeny.

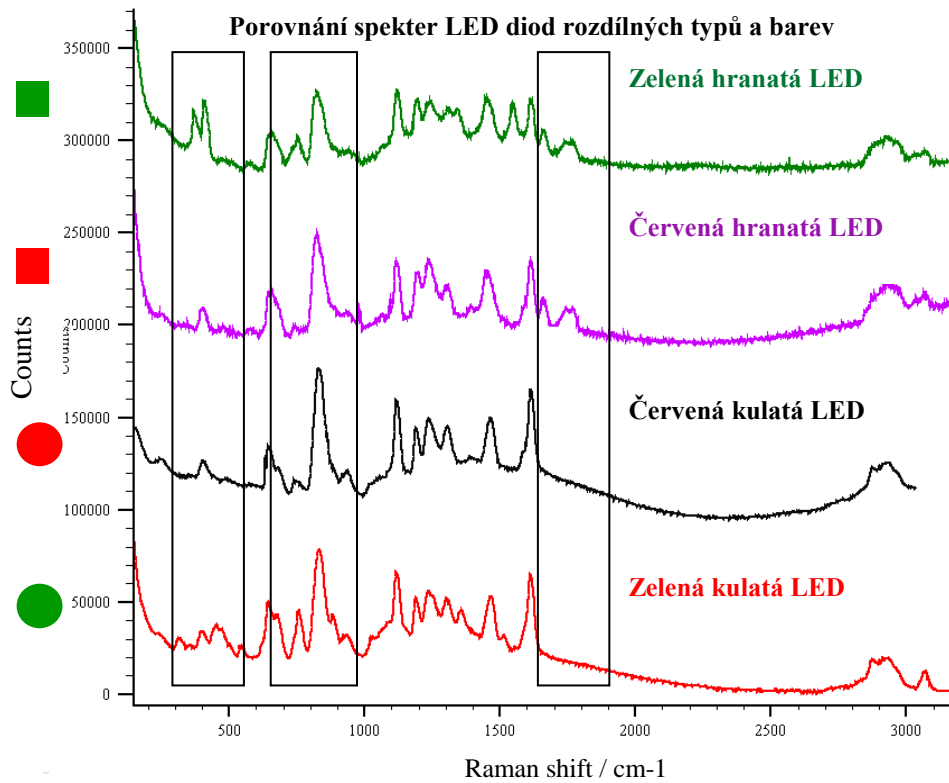


Obr. 28 Porovnání naměřených Ramonových spekter kulatých LED diod, typ snímání – extend.

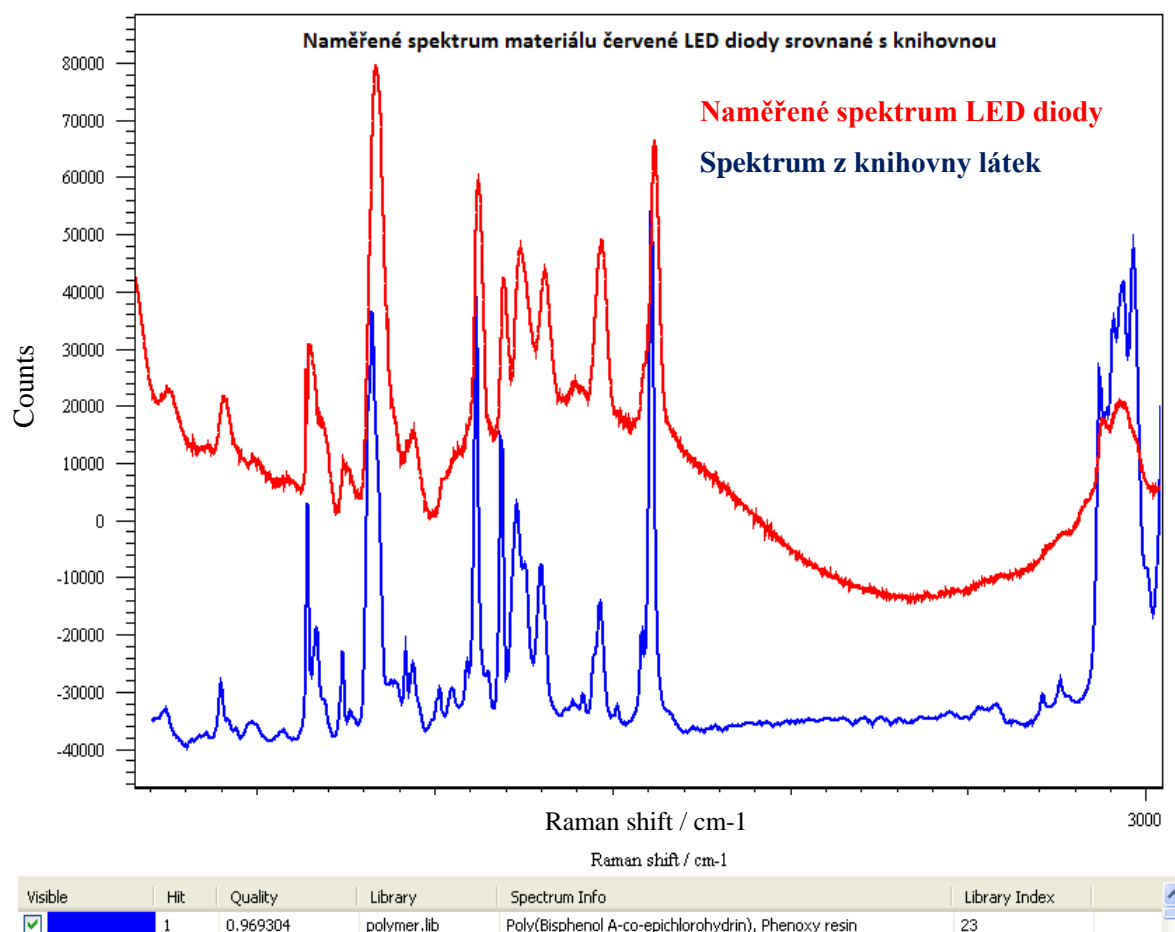
Na následujícím *Obr. 29* jsou vyznačeny rozdíly posuvu obzvláště v oblastech kolem 320 cm-1 a 1550cm-1.



Obr. 29 Porovnání naměřených Ramanových spekter LED diod hranatého průřezu, typ snímání – extend.



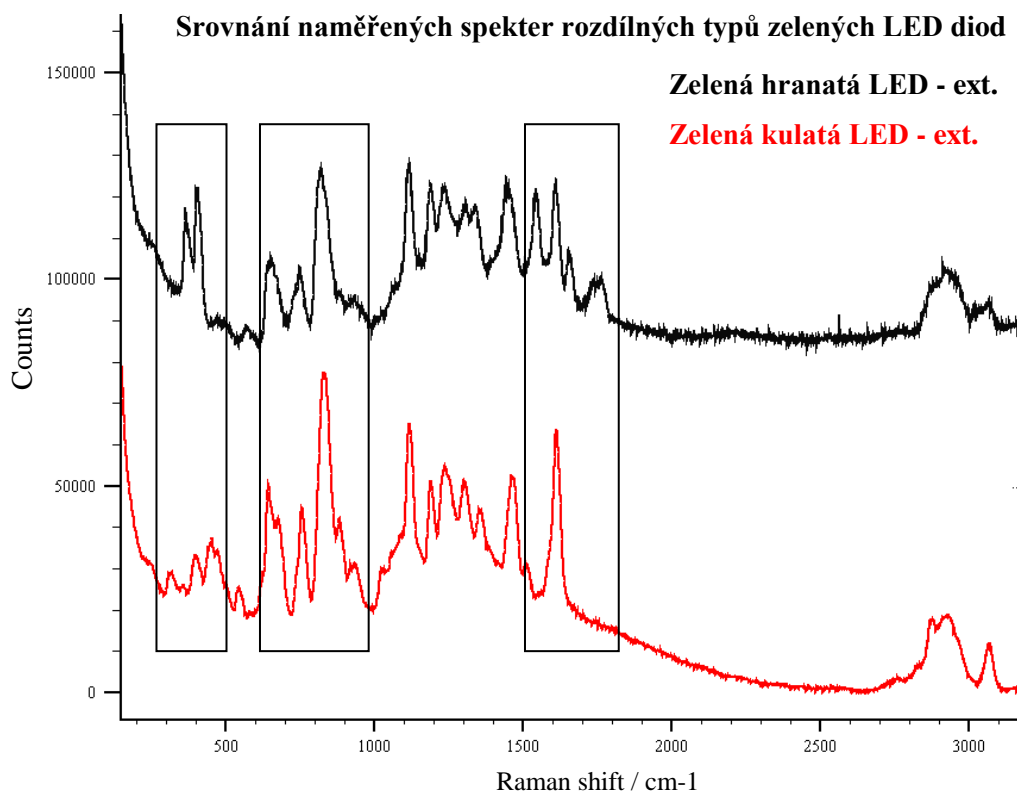
Obr. 30 Porovnání naměřených spekter rozdílných LED diod (tvarů a barev), typ snímání – extend.



Obr. 31 Porovnání naměřeného spektra z červené LED diody a následně srovnané s materiálem z knihovny látek.

Na *Obr. 31* je znázorněna shoda naměřeného spektra a referenčního spektra, které je obsaženo v databázi polymerních látek. Na uvedeném obrázku je prezentován naměřený výsledek použitý pro porovnání spektra s databází látek. Jedná se o látku nazývanou Fenoxi pryskyřice, která je obsažena v materiálu, jenž překrývá monokrystal LED diod.

Níže na *Obr. 32* jsou vyobrazena spektra LED diod zelené barvy rozdílného typu. Vzhledem k tomu, že se jedná o rozdílné výrobce, liší se v určitých místech spektra i jednotlivé píky, což může nasvědčovat tomu, že materiál překrývající monokrystal obsahuje rozdílné příměsi. Na obrázku jsou změny vyznačeny.



Obr. 32 Porovnání naměřených spekter zelených LED diod, typ snímání – extend.

6.6 Vyhodnocení a diskuze

Studie byla zaměřena na práci s vybranými vzorky pomocí analytické metody Ramanovy spektroskopie.

Především bylo podstatné ujasnit si, jaké vzorky budou zkoumány. Vzhledem k možnému využití Ramanovy spektroskopie byly vybrány náhodné vzorky elektronických součástek, u kterých bylo vyšetřováno složení použitých materiálů při výrobě pouzder elektronických součástek. Prvotně jsem se zaměřil na rozličné typy pouzder, jako představuje např. hermetické zapouzdření a následně byla zkoumána pouze plastová pouzdra. Rozhodl jsem se prošetřit, zda součástka typu procesor, která již z předchozího měření pomocí metody voltampérové charakteristiky vykazovala poruchy, se bude lišit od originální součástky. Zajímalo mně tedy, zda se bude lišit její materiálové složení. Soustředil jsem se proto na měření ověřené součástky vyrobenou autorizovaným výrobcem a již zmíněnou problematickou podezřelou součástkou.

Při měření využitím Ramanova spektroskopu za stejných podmínek byla naměřena spektra porovnána, jako je vidět i na předcházejících obrázcích (*Obr. 22, Obr. 23, Obr. 24*), která uvádí konkrétní, vzájemně lišící se oblasti vlnočtu Ramanova posunu.

Bohužel se nepodařilo získat prostřednictvím dostupné knihovny konkrétní látku, která může být obsažena v materiálu pouzdra.

Při studiu použitého pouzdra jsem se zaměřil i na zkoumání struktury povrchu součástek, u nichž jsem shledal rozdíly jednak v textuře jednotlivých povrchů, tak i znatelné rozdíly struktury označení součástek viz *Obr. 25* a *Obr. 26*. I tyto znaky nasvědčují tomu, že se nejedná o identický produkt jednoho výrobce. U originální součástky obsahoval materiál, použitý na popis, látku oxidu titaničitého (*Obr. 9*).

Dalšími součástkami, se kterými se pracovalo v experimentální části, jsou LED diody, u nichž jsem se zaměřil na složení materiálu překrývající monokrystal. Dostupnost různých barevných, ale i typových LED diod umožňovala osvětlit rozdíly použitých materiálů na jednotlivé druhy LED diod. Naměřená Ramanova spektra byla vzájemně porovnávána, jako prezentují i výše uvedené obrázky (*Obr. 28, Obr. 29, Obr. 30, Obr. 32*). Z uvedených obrázků je možné vyvozovat, že materiál použitý na výrobu zmiňované části LED diod, je při vykreslení spekter ovlivňován různými příměsemi, jež působí na jeho výsledné zabarvení, jako je ilustrováno i na *Obr. 28*.

Pokusil jsem se i o porovnání materiálu naměřených spekter LED diod s dostupnou knihovnou polymerních látek, kterým byla rozpoznána látka označována jako Fenoxi pryskyřice. Porovnání naměřeného spektra látky obsahované v materiálu a látky z databáze je zobrazeno na *Obr. 31*. Nevýhodou knihoven je fakt, že laborant nemá možnost přímo do spektra látek obsažených v databázi knihovny nahlédnout. Uživateli se vyfiltrují pouze spektra s určitou podobností naměřenému spektru. Laborant může využít funkci umožňující vytvořit svou databázi naměřených spekter.

Měření uvedených materiálů vykazovalo značnou fluorescenci. Tento negativně ovlivňující jev jsme se při měření snažili ovlivnit tak, jako je uvedeno v kapitole 3.3 *Fluorescence*, volbou změny použitých parametrů při měření, změny laseru (excitační vlnové délky), ale také použitím metody photobleaching viz *Obr. 11*. Bohužel ani díky těmto způsobům eliminace fluorescence se nepodařilo získat spektra, díky kterým by bylo možné určit výskyt jednotlivých látek ve vyšetřovaném materiálu.

I po konzultaci s odborným pracovištěm jsem shledal, že jako vhodným doplňujícím nástrojem objasňující látkové složení materiálu, může být analytická metoda Infračervená spektroskopie (IR, IČ spektroskopie). Jak Ramanova spektroskopie, tak i Infračervená

spektroskopie má své přednosti i nedostatky, avšak při použití obou těchto metod získané výsledky poskytují uživateli dostatečné informace přispívající k objasnění složení zkoumaného materiálu a jeho vlastností.

Po posouzení naměřených výsledků v experimentální části bylo zhodnoceno, že použití analytické metody Ramanovy spektroskopie představuje velmi perspektivní metodu identifikace pouze určitých typů látek. Ramanova spektroskopie má problém při měření keramických a kovových materiálů, ze kterých jsou vyráběna hermetická pouzdra elektronických součástek. Bohužel při výzkumném šetření byly měřeny právě materiály, jež jsou náchylné na vznik fluorescence. Naopak jako vhodné a určující pro měření mohla být analýza materiálů, které překrývají monokrystaly u LED diod.

Ke každé zkoumané součástce, ať už se jedná o originální či nepůvodní součástku, by měl být přístup laboranta k měření individuální. Pro dosažení optimálních informací o zkoumaném materiálu je k Ramanově spektroskopii vhodné použít, jako doplňující metodu Infračervenou spektroskopii. Na druhou stranu použití Ramanovy spektroskopie představuje značné výhody, jako jsou:

- nevyžaduje přípravu měřených vzorků,
- jedná se o nedestruktivní metodu, tudíž nedojde např. k poškození důkazů,
- možnost měření vzorků o malých rozměrech (1 μm -2 μm),
- měření může být uskutečněno i přes neporušení obalu zkoumaného předmětu.

Na základě zjištěných poznatků, týkajících se použitelnosti Ramanovy spektroskopie při analýze materiálů, z nichž jsou vyráběny pouzdra elektronických součástek, se metoda může jevit jako neefektivní a zdlouhavá. Především z důvodu pořízení specifického vybavení, časové náročnosti průběhu měření a individuálního přístupu ke každému zkoumanému produktu.

Jako inspirací a zároveň i doporučením pro další případné měření využitím Ramanova mikroskopu, při rozpoznávání znaků a materiálů potenciálních nepůvodních součástek, by mohla být snaha zkoumat u součástek shodného typu vždy stejné místo na povrchu pouzdra. Buď to:

- vytvořením přípravku pro uchycení měřené součástky může přispět k zaručení požadované měřené horizontální polohy v daném místě pouzdra,

- vytyčením téhož místa na součástce použitím posuvného stolku, který umožňuje podle souřadnic (např. od rohu součástky nebo jiného význačného bodu) najít požadované souřadnice.
- dále by bylo možné neměřit bod, ale udělat mapu malé oblasti, tj. získat soubor spekter, a ta následně porovnat s různými součástkami stejného typu, tedy vyhodnotit jejich spektrální homogenitu materiálu ve stejném místě povrchu pouzdra.

ZÁVĚR

Použití Ramanovy spektroskopie na měření vybraných vzorků prokázalo, že fluorescenční záření je nepředvídatelné a v mém případě velmi častý, negativní projev při měření. Ten ovlivňuje vykreslení Ramanových spekter. Bohužel ani při změně vlnových délek laserů nebo také použitím metody photobleaching (aplikující se pro snížení fluorescenčního záření) neměly na výsledky kladný vliv. Výsledky práce byly pro mě překvapující. Především proto, že jsem očekával, že zvolená metoda bude efektivnější. Důvodem pro mě byla řada odborných publikací a studií, které uvádí kladně tváříci se výsledky získané touto metodou, v mé práci se však příznivě nepotvrdily.

Diskuse byla pro mě jednou z nejpřínosnějších částí práce, protože jsem se dozvěděl řadu informací nejen z odborné literatury, ale i ze strany zainteresovaných pracovníků, které mi pomohly k řešení různých problémů, s nimiž jsem se v průběhu práce setkal.

Pokud bych měl odpovědět na předem danou výzkumnou otázku, která je zaměřena na rozdílnosti mezi součástkami, které je možné odhalit díky Ramanovy spektroskopii, je dle mého názoru důležité zohlednit především zkoumaný materiál.

Aplikační využití Ramanovy spektroskopie se vzhledem k technologickému pokroku rozšířila téměř do všech oblastí průmyslu a vědních oborů. Běžně se využívá i v bezpečnostních aplikacích, kde přispívá k identifikaci neznámých látek (barev, inkoustů, drog), dále také např. v mineralogii.

Doporučením pro další vyšetřování neznámých látek použitím Ramanovy spektroskopie, by měla být použita infračervená spektroskopie jako doplňující metoda k získání optimálních výsledků.

CONCLUSION

It was proved that the use of Raman spectroscopy for measurement of chosen samples is unpredictable and common negative manifestation was noted during measurement. The factor mentioned above can affect a picture of Raman spectra. Even though wavelength of lasers was changed and photobleaching (applied to decrease fluorescent light) method was used, there was no positive influence on measurement outcome. The outcome of my work was surprising for me mainly because I expected chosen method to be more effective. The reason for my high expectations is that many researches and articles are mostly mentioning good results in cases where this method is used. However, this fact was not confirmed in my work.

The most beneficial part of my work was discussion because I gained new knowledge regarding the topic from various sources, mainly from researches and co-workers who helped me during developing this paper.

If I would be asked to answer certain research question focused on differences between components, which can be detected using Raman spectroscopy, I would say that it is crucial to take into consideration examined material.

Applied use of Raman spectroscopy was broadened into all areas of industry thanks to technological progress. It is commonly used in security applications in cases of identifying of unknown materials.

Infrared spectroscopy is advised to be used as a supplement method in examining unknown materials with Raman spectroscopy to assure optimal outcome.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] M. Crawford, et al., *Defense Industrial Base Assessment*. In: Counterfeit Electronics, Report of U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, Office of Technology Evaluation, January 2010. <http://bis.doc.gov/defenseindustrialbaseprograms/>
- [2] HARPER, Charles A. *Electronic materials and processes handbook*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN 00-714-0214-4.
- [3] Detection of Counterfeit Electronic Components. American Electronic Resource[online]. ? 2010 [cit. 2012-02-01]. Dostupné z: <http://www.aeri.com/detection-of-counterfeit.asp>
- [4] S. Schoppe, G. Robertson, *Screening For Counterfeit Electronic Components*. In: Process Sciences Inc., 2010. <http://www.smtnet.com/library/files/upload/PSI-Counterfeits-Screening.pdf>
- [5] BERNATH, Peter F. *Spectra of atoms and molecules*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN ISBN 978-0-19-517759-6.
- [6] SIESLER, H a K HOLLAND-MORITZ. *Infrared and Raman spectroscopy of polymers*. New York: M. Dekker, c1980, 389 s. ISBN 08-247-6935-X.
- [7] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. V Brně: Prometheus, 2006, s. 890-920. ISBN 8021418680.
- [8] *Journal of Raman spectroscopy*. Chichester: John Wiley and sons, 1973-. ISSN 1097-4555.

- [9] HORÁK, Milan a Dušan PAPOUŠEK. *Infračervená spektra a struktura molekul*. 1. vyd. Praha: Academia, 1976, 836 s. ISBN neznámé.
- [10] HORÁK, Milan. *Zpracování a interpretace vibračních spekter*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1980, 430 s. ISBN neznámé.
- [11] KOVÁČ, Štefan, Dušan ILAVSKÝ a Ján LEŠKO. *Metódy kontroly technologických procesov: spektrálne metódy v organickej chémii a technológii*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1987, 461 s. Chemická literatúra. ISBN neznámé.
- [12] BY HALEH ARDEBILI, Michael Pecht. *Encapsulation technologies for electronic applications*. 1st ed. Oxford: William Andrew, 2009. ISBN 978-081-5515-760.
- [13] LAKOWICZ, Joseph R. *Principles of fluorescence spectroscopy*. 3rd ed. New York: Springer, c2006, 954 s. ISBN 03-873-1278-1.
- [14] PROSSE, V. *Experimentální metody biofyziky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 1989, 712 s. ISBN 80-200-0059-3.
- [15] *Klinická a toxikologická analýza* [online]. Editor Karel Štulík, Tomáš Zima. Praha: VŠCHT, 2008, 146 s. [cit. 2012-03-11]. ISBN 978-80-86238-51-7 (ČESKÁ SPOLEČNOST CHEMICKÁ : BRO. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/Klinicka.pdf>
- [16] Aplikace Ramanovy spektroskopie. HOCKING, Anthony. *Renishaw: the story of Crookes Brothers* [online]. Bethulie: Hollards, c1992 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/aplikace-ramanovy-spektroskopie--6259>
- [17] SCHOPPE, Stephen a Glenn ROBERTSON. SCREENING FOR COUNTERFEIT ELECTRONIC COMPONENTS. In: *SMT: Surface Mount Technology Electronics Manufacturing* [online]. © 1995-2012 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.smtnet.com/library/files/upload/PSI-Counterfeits-Screening.pdf>
- [18] SCHULTZ, Nick. Potting and Encapsulating Electronic Components. In: *Adhesive Dispensing Equipment, Sealant Equipment, Encapsulating, Fluid Dispenser* [online]. © 2000-2012 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://www.sealantequipment.com/technical/potting-electronics.htm>

- [19] UNITES Systems a.s.: Odhalování padělků součástek. UNITES Systems a.s. [online]. © 2008 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: http://unites-systems.com/cz/o.php?o=sluzby---Odhalovani_padelku_soucastek
- [20] SENTRY Counterfeit IC Detector. ABI Electronics [online]. © 2012 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.abielelectronics.co.uk/Products/SENTRYCounterfeitICDetector.php>
- [21] *Klinická a toxikologická analýza* [online]. Editor Karel Štulík, Tomáš Zima. Praha: VŠCHT, 2008, 146 s.[cit. 2012-03-29]. ISBN 978-80-86238-51-7 (ČESKÁ SPOLEČNOST CHEMICKÁ : BRO. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/Klinicka.pdf>
- [22] COUNTERFEIT COMPONENTS AVOIDANCE PROGRAM, CERTIFICATION FOR. In: *Conferences and Training Seminars for Electronic Professionals* [online]. Copyright 2011 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.cti-us.com/pdf/CCAP101Certification.pdf>
- [23] DENDISOVÁ, Marcela, Pavel ŽVÁTORA a Pavel MATĚJKA. RAMANOVA SPEKTROMETRIE. In: *Vysoká Škola Chemicko-Technologická v Praze* [online]. © 2009 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/lach2/RAMAN.pdf>
- [24] Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP). *PerkinElmer* [online]. © 1998-2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.perkinelmer.com/pages/020/cellularimaging/techniques/frap.xhtml>
- [25] Kritéria výběru pouzdra SMD integrovaného obvodu. *SMTcentrum: Služby v oblasti pájení a spolehlivosti povrchové montáže*[online]. © 2008-2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.smtcentrum.cz/pouzdra-smd/kriteria-vyberu-pouzdra-smd-integrovaneho-obvodu/>
- [26] Scanning Acoustic Microscopy (SAM). *National Physical Laboratory* [online]. 2010 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: [http://www.npl.co.uk/science-technology/advanced-materials/measurement-techniques/non-destructive-evaluation/scanning-acoustic-microscopy-\(sam\)](http://www.npl.co.uk/science-technology/advanced-materials/measurement-techniques/non-destructive-evaluation/scanning-acoustic-microscopy-(sam))
- [27] Acoustic microscopy. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. [20 february 2012] [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_microscopy

- [28] FJELSTAD, JOSEPH. Materials and Methods for IC Package Assemblies. In: *Solid State Technology* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.electroiq.com/articles/ap/print/volume-14/issue-8/features/the-back-end-process/materials-and-methods-for-ic-package-assemblies.html>
- [29] STURDIVANT, Rick. Millimeter-wave Performance of Alumina High Temperature Cofired Ceramics IC Packages. In: *Microwave Packaging Technology* [online]. 2006 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.mptcorp.com/downloads/articles/millimeteraluminapackages.pdf>
- [30] *Advances in electrical and electronic engineering* [online]. 2007 [cit. 2012-04-13]. ISSN 1336-1376. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/83892>
- [31] NEUMANN, Petr, Milan ADÁMEK a Petr SKOČÍK. *MOŽNOSTI DETEKCE PADĚLKŮ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK*. Zlín, © 2011.
- [32] *Chelsea Technology Inc.* [online]. c 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.chelseatech.com/>
- [33] *DPS - Plošné spoje od A do Z*. Liberec: CADware, 2010-, roč. 2011, č. 2. ISSN 1804-4891. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/>
- [34] *DPS - Plošné spoje od A do Z*. Liberec: CADware, 2010-, roč. 2012, č. 2. ISSN 1804-4891. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/>. Vychází 6x ročně.
- [35] NOVOTNÁ, Miroslava. Analytické metody při průzkumu památek. *VŠCHT - Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze* [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://eso.vscht.cz/cache_data/1293/www.vscht.cz/anl/pan2/i/Synopse08_2009.pdf
- [36] Nové směry v RTG spektrometrii. *RMI* [online]. c 2004 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf_cz_14.pdf
- [37] *APLIKACE ANALYTICKÝCH METOD VYUŽÍVAJÍCÍCH RTG ZÁŘENÍ V OBLASTI ANALÝZ STAVEBNÍCH MATERIÁLU* [online]. Brno, 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=48969. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [38] Rentgenfluorescenční analýza. *Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská* [online]. (c) 2001-2004 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.fjfi.cvut.cz/DesktopDefault.aspx?ModuleId=1553&ItemId=666>
- [39] KIM, Tai-hoon. *Security technology: Microscopic Analysis of The Chips*. London: Springer, 2011. ISBN 36-422-7188-X.

- [40] Infračervená spektroskopie a její techniky. *VŠCHT - Vysoká škola Chemicko-Technologická v Praze* [online]. c 2009 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://lms.vscht.cz/Zverze/Infrared.htm>
- [41] HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE. In: *HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETRIE* [online]. neznámé [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/anl/matejka/ACH2-02-MS.pdf>
- [42] Elektronová mikroskopie. *Fyzikální ústav Akademie věd ČR* [online]. © 2008-2010 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.fzu.cz/category/okruhy/elektronova-mikroskopie>
- [43] Fluorescence. *Mikroskopy* [online]. © 2008-2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.mikroskop-mikroskopy.cz/fluorescence/>
- [44] MOŽNÁ, Veronika. Studium laserové ablace ocelí ve spojení s ICP-OES a ICP-MS. Brno, 2006. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/63704/prif_m/Studium_laserove_ablace_oceli_ve_spojzeni_s_ICPMS_ICPOES.pdf. Diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA, Přírodovědecká fakulta.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

cm^{-1}	Jednotka vlnočtu
E	Energie fotonu
$E_{1,2}$	Energie molekuly v základním a excitovaném stavu
h	Planckova kvantová konstanta
Hz	Jednotka frekvence [Hertz]
IR, IČ	Infračervené elektromagnetické záření
LED	Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo
m	Jednotka délky (stejně jako μm , nm, mm, cm)
RoHS	Restriction of the use of Hazardous Substances
SEM	Scanning Electron Microscopy
UV-VIS	Označení ultrafialové a viditelné části světelného spektra
ν_0	Frekvence
ν_R	Ramanova frekvence
λ	Vlnová délka

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Označení 1. vývodu na povrchu obalu integrovaného obvodu.....</i>	16
<i>Obr. 2 Na součástce stejného typu je vidět rozdíl vlysu. [3]</i>	16
<i>Obr. 3 Srovnání značek označující zemi původu. [3]</i>	17
<i>Obr. 4 Struktura 20x zvětšeného povrchu pouzdra součástky integrovaného obvodu. Pořízeno optickým mikroskopem, který je součástí Ramanova spektroskopu.....</i>	18
<i>Obr. 5 Podezřelá součástka svým povrchem, která byla následně omyta rozpuštědlem. [3]</i>	18
<i>Obr. 6 Zobrazení nedokonalostí označení součástky. [3]</i>	19
<i>Obr. 7 Kontrola balení metodou RTG. [17]</i>	20
<i>Obr. 8 Schematické zobrazení rozptylu světla v Ramanově spektroskopii [9]</i>	23
<i>Obr. 9 Ukázka Ramanova spektra oxidu titaničitého, který se vyskytuje v materiálu, jímž se popisují pouzdra elektronických součástek.</i>	24
<i>Obr. 10 Schematické znázornění Ramanova spektrometru.</i>	24
<i>Obr. 11 Vykreslení rozdílu Ramanových spekter originální součástky při použití metody Photobleaching.</i>	27
<i>Obr. 12 Ukázka pouzdra z HTCC keramiky, které je na laminované základní desce. [29].....</i>	33
<i>Obr. 13 Ukázka kovového pouzdra. [32].....</i>	34
<i>Obr. 14 Srovnání pryskyřic na výrobu pouzder elektronických součásti [2]</i>	36
<i>Obr. 15 Příklady materiálů využívající se na výrobu pouzder elektronických součástek [28]</i>	37
<i>Obr. 16 Zobrazení vrstev materiálů na odráženém rozhraní pomocí SAM [27].....</i>	41
<i>Obr. 17 Ramanův mikroskop inVia Basic značky Renishaw.</i>	44
<i>Obr. 18 Ilustrace rentgenových snímků (vpravo) originální a (vlevo) nepůvodní součástky. [34]</i>	45
<i>Obr. 19 Prostředí softwaru WiRE 3.2.....</i>	47
<i>Obr. 20 Obrázek ukazuje porovnání naměřených spekter, která jsou pořízena lasery s rozdílnými vlnovými délkami.</i>	49
<i>Obr. 21 Originální součástka, měřeno laserem 785nm NIR, typ snímání - static.</i>	49
<i>Obr. 22 Porovnání neměřených Ramanových spekter originální a nepůvodní součástky, typ snímání – extend.....</i>	50

<i>Obr. 23 Zvětšená část předchozího Obr. 22, která zobrazuje naměřená Ramanova spektra originální a nepůvodní součástky.</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 24 Obrázek znázorňuje naměřené Ramanovo spektrum originální a nepůvodní součástky, typ snímání – static.</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 25 Ukázka 5x a 20x zvětšené struktury povrchu pouzdra originální součástky. 1 – označení součástky, 2 – struktura povrchu.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 26 Ukázka 5x a 20x zvětšené struktury povrchu pouzdra nepůvodní součástky. 1 – označení součástky, 2 – struktura povrchu.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 27 Naměřená spektra označení originální a nepůvodní součástky typu procesor, u kterých jsou vidět zjevné rozdíly. Typ snímání - static.</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 28 Porovnání naměřených Ramonových spekter kulatých LED diod, typ snímání – extend.</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 29 Porovnání naměřených Ramanových spekter LED diod hranatého průřezu, typ snímání – extend.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 30 Porovnání naměřených spekter rozdílných LED diod (tvarů a barev), typ snímání – extend.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 31 Porovnání naměřeného spektra z červené LED diody a následně srovnané s materiálem z knihovny látek.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 32 Porovnání naměřených spekter zelených LED diod, typ snímání – extend.....</i>	<i>57</i>

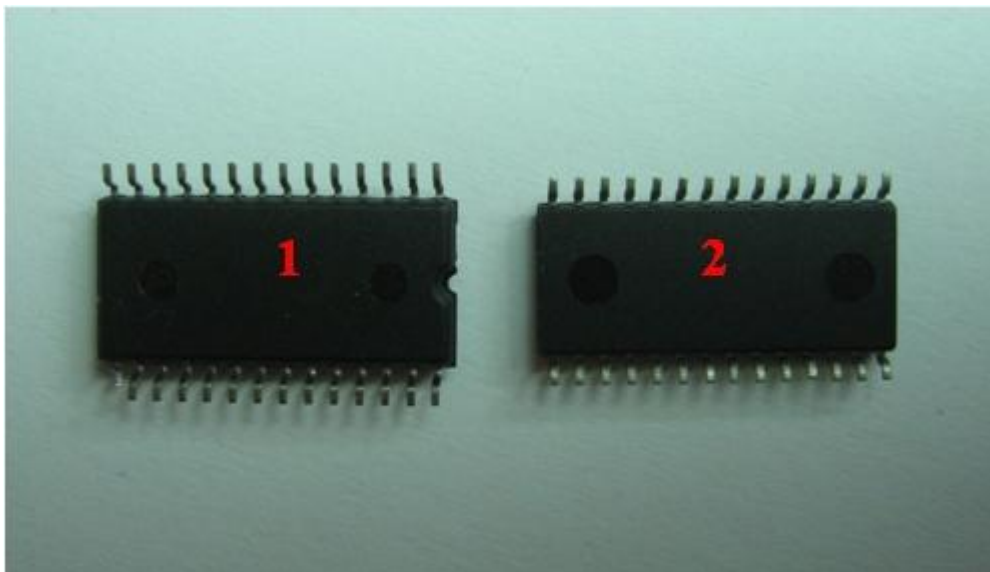
SEZNAM TABULEK

<i>Graf č. 1 Poměrné zastoupení objevených padělaných elektronických součástek mezi lety 2005-2008. [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Graf č. 2 Znázornění výskytu kopií originálních vzorů a falešných výrobků autorizovaných výrobců elektronických součástek. Grafické znázornění bylo zpracováno z průzkumu americké obchodní komory na základě výsledků hlášených výrobcí originálních součástek v USA. [1]</i>	<i>13</i>
<i>Graf č. 3 Znázornění výskytu typů nepůvodních diskrétních součástek. [1]</i>	<i>13</i>
<i>Graf č. 4 Znázornění výskytu typů nepůvodních integrovaných obvodů. [1]</i>	<i>14</i>
<i>Graf č. 5 Srovnání zemí produkující padělané výrobky. [1]</i>	<i>15</i>

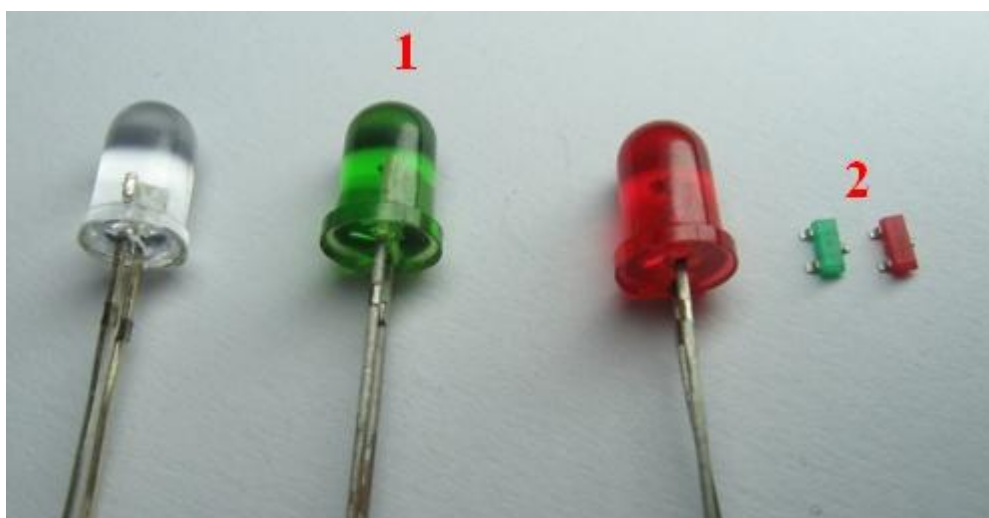
SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha 1 Měřené součástky procesoru. 1 - originální součástka, 2 - nepůvodní součástka</i>	<i>73</i>
<i>Příloha 3 Měřené součástky LED diod. 1 - LED diody s kulatým průřezem, 2 - LED diody s hranatým průřezem</i>	<i>73</i>

PŘÍLOHA P I: MĚŘENÉ SOUČÁSTKY



*Příloha 1 Měřené součástky procesoru. 1 - originální součástka,
2 - nepůvodní součástka*



*Příloha 2 Měřené součástky LED diod. 1 - LED diody s kulatým průřezem,
2 - LED diody s hranatým průřezem*