

## **Nedestruktivní hloubkové profilování velmi tenkých kovových vrstev elektronově-spektroskopickými metodami**

Diplomová práce, kterou posluchač Petr Blumentrit vypracoval pod mým vedením v letech 2005-2006, se zabývá možnostmi nedestruktivního hloubkového profilování velmi tenkých kovových vrstev elektronově-spektroskopickými metodami, tedy takovým tématem analýzy povrchů, které dosud není v povědomí příslušné fyzikální komunity rozšířeno natolik, jak by to odpovídalo jeho aplikačnímu významu. Hloubkovým profilováním v analýze povrchů totiž většinou míváme na mysli analýzu některou spektroskopickou metodou při současně probíhající odprašování vzorku, čili profilování, při němž se vzorek zničí. Výsledky tedy již nejsou ověřitelné a navíc jsou zatíženy značnou systematickou chybou. Ta spočívá jednak v preferenčním odprašování některých složek vzorku a jednak v principiálním rozmývání původně ostrých hranic mezi jeho jednotlivými vrstvami.

V souvislosti s intenzívním studiem elektronového rozptylu v povrchových vrstvách pevných látek během posledních desetiletí se však podkryly i možnosti alternativní, a sice hloubkového profilování nedestruktivního. Vychází se při něm ze skutečnosti, že hloubka, z níž při elektronově-spektroskopickém experimentu pochází informace, závisí na energii částic, jež jsou jejichmi nositeli, a na materiálovém složení vzorku a jeho hloubkovém průběhu. Rozptylové procesy, jimž nositelé informace během svého transportu podléhají, dávají vznik nejen užitečnému signálu, ale i pozadí. Ukázalo se ovšem, že ani pozadí nelze pokládat za neužitečný balast, nýbrž právě naopak. Jeho velikost a energetický průběh od sebe odlišuje morfologicky diametrálně rozdílné vzorky, jejichž „užitečné“ spektrální intenzity by jinak byly falešně identické.

Studium elektronového rozptylu je obecně nesmírně komplikované, ba striktně vzato nemožné, protože ve fyzikálních veličinách, které ho popisují a parametrizují, jsou implicitně zahrnuty hodnoty neznámých, které chceme z takového kvantitativního experimentu vlastně teprve určit. Tudíž se neobejdeme bez řady aproximací, které jsou věci fyzikálního citu a intuice tvůrců modelů elektronového rozptylu, s nimiž naše experimentální výsledky porovnáváme, abychom dospěli k co nejpravděpodobnějšímu hloubkovému profilu neznámého vzorku. Jejich modely jsou sofistikované někdy více, někdy méně a také se liší mírou praktické použitelnosti jejich programových výstupů.

Jednou z čelných světových osobností kvantitativní analýzy povrchů je prof. Wolfgang Werner z Technické univerzity ve Vídni. Se svým někdejší doktorandem Wernerem Smekalem vyvinuli model a zcela nedávno i z něho vycházející počítačový program, který nazvali SESSA (Simulation of Electron Spectra for Surface Analysis) a který by náležitým nafitováním svých parametrů na naměřená spektra XPS nebo AES měl nedestructivně určit neznámé hloubkové složení měřeného vzorku.

Diplomová práce Petra Blumentrita je věnována jak ověřování aplikačních schopností tohoto programu za specifických situací, tak zejména jeho originálnímu rozpracování na situace, respektive měřicí módy, s nimiž původně nepočítá. Písemný elaborát se skládá z části teoretické i experimentální. V teoretické části jsou nejprve vysvětleny principy elektronové spektroskopie XPS a AES, načež její druhý oddíl se zabývá typy elektronových spekter a jejich zpracováním. Zpracování spekter pojímá jak z hlediska korekce na transmisní funkci spektrometrů různých typů, tak z hlediska odečtu pozadí. V předposledním oddíle teoretické části popisuje modely vrstevnatých vzorků a v posledním oddíle se zabývá principy simulace elektronového spektra.

Experimentální část diplomové práce Petra Blumentrita se soustředila na metody XPS a AES a jako vzorky posloužily kontaminované prvkové či slitinové vzorky, jimiž jsme se zabývali v rámci řešení i jiných problematik. Diplomant pracoval celkem na dvou nezávislých aparaturách k analýze povrchů v laboratoři analýzy povrchů na KEVF MFF UK, a sice na aparatuře AES/EPES a na aparatuře XPS/UPS. Obě jsou velmi složité a ke svému ovládnutí vyžadují řadu specifických postupů, jež si Petr Blumentrit musel v potřebné míře osvojit, nemluvě o samozřejmých základech fyziky a techniky ultravysokého vakua, aplikované elektroniky, elektronové optiky a číslicového zpracování dat. Aparatury, na nichž pracoval, jsou popsány v páté subkapitole diplomové práce. Šestá je pak věnována analýze vybraných elektronových spekter s cílem ukázat, jak teoreticky vypracované postupy v praxi skutečně fungují. Za největší diplomantův původní přínos pokládám vypracování metody, kterou je k hloubkové profilové analýze programem SESSA použitelné i derivované Augerovo spektrum, což je možnost, s níž jeho tvůrci nepočítali, ač u sférických analyzátorů s brzdícím polem se s tímto pracovním módem setkáváme zpravidla.

V průběhu své diplomové práce se Petr Blumentrit musel potýkat s řadou nepříznivých okolností různého typu. Jednak pracoval na aparatuře, která vznikla spoluprací ne zcela seriózních subdodavatelů a její parametry nebyly vždy zcela zaručeny. Tudíž má i lví podíl na jejím udržování v chodu a provozních vylepšeních. Za druhé byl v průběhu své diplomové práce postižen mou dlouhodobou zdravotní indispozicí. V neposlední řadě pak musel nakonec řešit i

své vlastní existenčně-sociální problémy, které mu odčerpávaly síly i čas. S tím vším si srdnatě poradil a dovedl svou diplomovou práci do zdárného konce.

Souhrnně se domnívám, že Petr Blumentrit svůj diplomový úkol splnil velmi dobře a dosáhl původních a pozoruhodných metodických výsledků. Proto doporučuji, aby jím předložená práce byla přijata k obhajobě jako práce diplomová, a navrhuji, aby byla klasifikována známkou

*velmi dobře*

V Praze, 11.9.2006



Doc. RNDr. Jiří Pavluch, CSc.

vedoucí práce