

Oponentský posudek kandidátské disertační práce: Ing. Vladimír Botka,
"Elektrofyzikálne vlastnosti štruktúr MOS s implantovaným substrátom"

a) Aktuálnosť zvolenej tématiky

Výtěžnosť výroby integrovaných obvodů s rostoucí hustotou stupně integrace a s použitím stále větších průměrů základních křemíkových desek je klíčovým faktorem ekonomiky výroby. Diagnostickým metodám na kontrolu technologických procesů připadá proto čím dále tím větší důležitost, což se projevuje jak ve výběru testovacích struktur tak i v rychlém způsobu jejich vyhodnocení, aby se zajistila zpětná vazba na technologii. To lze zabezpečit už jen automatizovaným sběrem dat a jejich analýzu a vyhodnocování počítačem. Téma předložené kandidátské disertace je proto nanejvýš aktuální.

b) Cíle disertace

Cíle disertační práce logicky vyplývají ze zadané tématiky, jsou to hlavně:

- 1) Vybudování automatizovaného pracoviště na analýzu elektrofyzikálních vlastností struktur MOS s ohledem na kontrolu homogenního rozložení po celé desce za použití většího počtu vzájemně se doplňujících metod.
- 2) Vypracovat řídicí a vyhodnocovací programy pro počítač PC AT pro realizaci podle bodu 1.
- 3) Určit hloubkové koncentrační profily implantovaných příměsí včetně dalších relevantních parametrů s možností mapování celého povrchu desek.

Jak vyplývá z velmi obsažné předložené práce, byly tyto cíle vesměs splněny.

c) Zvolené metody zpracování

Struktura MOS tvoří přímo ideální testovací systém, který je lehce realizovatelný a poskytuje možnost prozkoumat prakticky všechny elektrické parametry jak kysličnickové vrstvy, tak i rozhraní s polovodičem a podpovrchové vlastnosti, při čemž rozměry jsou tak malé, že lze tyto struktury používat na mapování s přijatelnou rozlišovací schopností řádově mm. Disertant proto zvolil struktury MOS jako analytický prostředek a zaměřil se na využití celé řady známých metod s cílem automatizace vyhodnoco-

covacího procesu pomocí počítače na mapování povrchu desek. Vychází při tom z řešení jednorozměrné Poissonovy rovnice, což je při daných rozměrech povrchové plochy a hloubky systému postačující a pomocí kapacitně-napěťových měřicích procedur získá při variaci napětí hradla potřebné informace. Tyto základní metody, konkrétně nízkofrekvenční nebo i kvazistatickou C-V metodu, rovnovážnou i nerovnovážnou vysokofrekvenční metodu a Q-C metodu automatizoval pomocí řídicího počítače PC AT a sběrnice IMS-2 na sběr dat. Pro měření generační doby života minoritních nosičů použil metodu konstantní tloušťky oblasti prostorového náboje, což poskytuje určité výhody oproti klasické Zerbstově metodě. Tyto metody umožnily získat informace o základních fyzikálních parametrech struktur MOS, jako hloubkový profil koncentrace příměsí v podpovrchové vrstvě polovodiče, napětí vyrovnání pásů, hustota pastí na rozhraní s kysličníkovou vrstvou, hloubkový profil generační doby života minoritních nosičů a tloušťka oxidové vrstvy. Při automaticky provedeném krokování lze takto rychle zmapovat povrch celých desek s průměrem do 10 cm. Důležitým doplňkem je soustava vypracovaných programů na zpracování naměřených dat, takže výstupem je grafické znázornění průběhu základních parametrů desek ve formě dvoudimensionálních a kvazi-trojdimensionálních map, a to v různých barvách.

Přístup disertanta byl cílevědomý s využitím všech možností, které skýtá moderní způsob zpracování dat počítačem, využíval všechny informace, které plynuly ze systematického průzkumu literaturních údajů a maximálně využíval znalosti a možnosti již dříve vypracovaných měřicích metod.

d) Hlavní výsledky disertační práce

Předložená práce je výsledkem obsáhlé konstrukční a experimentální činnosti a obsahuje velkou řadu původních výsledků a informací, nehledě na to, že nyní je k dispozici automatizované pracoviště, které může být využíváno pro zákaznická řadová měření a může tak sloužit ke zvýšení kvality technologických procesů. Jako hlavní výsledky bych uváděl:

- 1) Realizace komplexního automatizovaného pracoviště na mapování nehomogenity velkých křemíkových desek včetně úplného zpracování naměřených dat s možností jejich ukládání do paměti pro další porovnání s podobnými případy

- 2) Jako velice význačné pokládám teoretické zpracování fyzikálních vlastností struktury MOS s nekonstantním průběhem koncentrace příměsí v substrátu do hloubky, čímž se umožnilo provést korekci měřeného profilu majoritních nosičů na profil dotace v substrátu vyhodnocením měření C-V křivek.
- 3) Vypracování programů na numerické řešení Poissonovy rovnice s kritickým porovnáním aproximací polynomy a číslicových filtrů.
- 4) Použití různých měřicích metod současně pro tytéž vzorky včetně metody Q-C, která byla implementována s dobrým úspěchem, a metody s konstantní šířkou oblasti prostorového náboje na určení generační doby života minoritních nosičů.
- 5) Provedení velkého počtu měření na velkých deskách Si a jejich zpracování na mapy, ověřeny vypracované modely na potřebné korekce pro různé dávky implantovaných příměsí do substrátu.
- 6) Experimentální vyšetřování vlastností kysličníkové vrstvy a rozhraní křemík-oxid.
- 7) Vysoce hodnotím úroveň použitých metod numerické matematiky při vypracování počítačových programů.

Práce je velice pečlivě zpracována, je stručná a věcná, pomocné matematické odvození hlavních vztahů je v dodatcích a výsledky jsou prezentovány ve formě grafů nebo obrázků a tabulek, pouze tisk, zejména indexů, není na odpovídající úrovni a ztěžuje čtení.

K práci mám tyto dotazy:

- 1) Byly hloubkové profily implantovaných substrátů porovnány též metodou odporu šíření nebo jiným způsobem?
- 2) Je možné měřit také teplotní závislost parametrů vyšetřovaných vzorků?
- 3) Bylo by dobré doplnit obr.1.1, 4.4 a 4.5 údaji o napěí pro tečkované křivky hlubokého ochuzení
- 4) Jaké jsou možnosti aplikace vypracovaných metod na jiné polovodičové systémy?

e) Závěry pro praxi a rozvoj vědy

Práce přinesla řadu nových poznatků po stránce vyhodnocování kapacitních metod struktur MOS, které nacházejí uplatnění v praxi při kontrole technologických postupů vytváření polovodičových struktur planární technologií. Dále je to realizace komplexního pracoviště na zkoumání vlastností struktur MOS zejména s možností

měření nehomogent jak hloubkové tak i plošné změny koncentrace příměsí v substrátě. Vypracované numerické metody a programy mohou najít uplatnění pro řešení jiných problémů.

f) Távěr

Předložená práce je velice pečlivě vypracována a obsahuje velké množství původních výsledků experimentálních i teoretických. Je třeba vyzdvihnout vysokou úroveň provedených měření včetně realizovaných aparatur, čímž byla dosažena neobyčejná přesnost a reprodukovatelnost měření, a především vysokou úroveň matematických metod zpracování dat pomocí počítače, kde byly vypracovány četné programy. Ing. Vladimír Botka prokázal, že ovládá vědecké metody, vyniká jak postráncem experimentální včetně schopností realizovat náročná měřicí zařízení v moderním elektronickém pojetí a má hluboké teoretické znalosti, které využívá při návrhu metod a při interpretaci výsledků.

Konstatuji proto, že předložená disertační práce splňuje podmínky stanovené v §1 odst.1 vyhlášky č.65/1977 Sb. Slovenské komise pro vědecké hodnosti a proto navrhuji, aby byla přijata k obhajobě jako podklad k udělení Ing.V. Botkovi vědeckou hodnost kandidáta věd.

V Praze, dne 24.10.1991


Prof. RNDr. H. Frank, DrSc.