

Posudek diplomové práce

Autorka diplomové práce: Bc. Ema Jiroušková

Diplomová práce: „Charakterizace mikrodefektů v monokrystalech Czochralského křemíku“ vypracovaná Emou Jirouškovou se zabývá studiem mikrodefektů ve slabě legovaném N-typovém Czochralském křemíku.

V rámci experimentální části byly charakterizovány axiální a radiální profily mikrodefektů ve fosforem slabě dopovaném monokrystalu křemíku. K charakterizaci byla využita optická mikroskopie, skenovací elektronová mikroskopie a metoda rozptylu laserového paprsku. Si desky byly vystaveny vysokoteplotním testům s cílem zvýraznit existující mikrodefekty.

Účinnost těchto testů byla demonstrována pomocí snímků leptaných lomů a vliv těchto testů byl porovnáván u dvou skupin křemíkových desek, které se lišily podstoupením výrobního kroku *denudačnímu žihání*.

Testy, kterými byly analyzované křemíkové desky podrobeny vycházely ze standardizovaných polovodičových testů – *precipitačního* a *OISF* (Oxidation Induced Stacking Fault) *testu*. Distribuce COP (Crystal Originated Particle) defektů a s tím spojená účinnost denudačního kroku byla demonstrována na základě výsledků analýzy povrchu křemíkových desek rozptylem laserového paprsku. Po selektivním leptání byly porovnávány skupiny křemíkových desek, *bez* a *s denudačním žiháním* a zároveň byly porovnávány výsledky vzájemně podobných vysokoteplotních testů.

Při porovnání *precipitačního testu* a *vlastního testu I* se ukázal vhodnější *vlastní test I*, při kterém došlo u desek s denudací k výraznějšímu zviditelnění defektů v krystalu. Kontrolovaná atmosféra směsi plyného O₂ a N₂ (poměr přibližně 1:19) se ukázala jako vhodnější pro standardizovaný precipitační test ve srovnání s testem za přístupu vzduchu, kdy došlo pravděpodobně k větší generaci intersticiálních atomů křemíku do objemu vzorků. To způsobilo výraznější generaci vrstevných chyb především na začátku a konci krystalu, kdy byla naměřena i nejvyšší koncentrace kyslíku, což naznačilo přítomnost kyslíkových precipitátů.

Obecně v případě testování vzorků *OISF testem* a *vlastním testem II*, byl pozorován výskyt vrstevných chyb na začátku krystalu, dále podél okraje a v případě *vlastního testu II* i na konci krystalu. Vzhledem k intersticiálnímu charakteru OISF, tyto testy potvrdily intersticiální charakter začátku a okraje charakterizovaného krystalu u analýzy COP defektů laserovým svazkem. *Vlastní test II* vedl k mírně většímu počtu zobrazených defektů, lze tedy navrhnout tento test jako vhodnější pro zvýraznění defektů na analyzovaném materiálu.

Při obecném porovnání křemíkových desek bez a s denudačním žiháním bylo po provedení většiny vysokoteplotních testů více defektů pozorováno u desek *bez denudačního žihání*. Tato práce potvrzuje funkčnost denudačního žihání a vliv na vakantní jádro nacházející se v křemíkovém monokrystalu. Denudací byla pozorována eliminace vakantního jádra v krystalu, což jednoznačně potvrdily výsledky analýzy leštěného povrchu laserovým svazkem a zároveň *vlastní test II*, po kterém se pomocí vrstevných chyb zviditelnila intersticiální část, tedy oblast okraje krystalu.

Závěrem práce je doporučeno pro dosažení maximálního zvýraznění intersticiální části denudovaného materiálu, pokračovat v testování modifikací standardního *precipitačního testu* po vzoru *vlastního testu I* a v testování modifikace standardizovaného *OISF testu* po vzoru *vlastního testu II*.

Při obhajobě diplomové práce prosím, aby se autorka diplomové práce vyjádřil k následujícímu:

- 1) Vysvětlíte vznik a strukturu a) Frenkelovy a b) Schottkyho poruchy u Si.
- 2) Vysvětlíte, jaké selektivní leptání se používá pro zobrazování defektů nacházejících se v blízkosti povrchu křemíkových desek a na jaké závislosti rychlosti leptání v různých krystalografických rovinách je selektivní leptání založeno.

Porovnáním výsledků práce s jejím zadáním lze konstatovat, že cíle této práce byly jednoznačně splněny. Práce je velice pečlivě napsána, v tradičním členění, se zanedbatelným počtem překlepů. Autorka diplomové práce pracovala na tématu, které není jednoduché a přineslo řadu úskalí, které autorka zvládla. Autorka prokázala při řešení diplomové práce schopnost samostatné vědecké práce a iniciativu v získávání nových poznatků.

Je třeba vyzdvihnout fakt, že denudace je standardní součástí výrobního procesu monokrystalického křemíku a diplomová práce má tak výrazný přínos a přesah pro aplikaci.

Diplomovou práci a její zpracování hodnotím známkou „A“ (výborně).

21. 5. 2024

prof. Ing. Tomáš Wágner, DrSc