

OPTICKÉ MERANIE DEFORMÁCIE A NAPÄŤOVÝCH STAVOV KREMÍKOVÝCH SUBSTRÁTOV

Držík M., Mach Ľ., Ústav stavebníctva a architektúry SAV
842 20 Bratislava, Dúbravská cesta 9

Substráty monokryštalického kremíka na výrobu integrovaných obvodov sú v technologickom procese zaťažované vysokými termickými napätiami. Tieto vznikajú po nanosení na základný materiál povrchových vrstiev pri vysokých teplotách 1000 - 1200°C a následnom vychladnutí takéhoto konštrukčného prvku typu dvoj či viacvrstvovej tenkej dosky. Zvyšková deformácia je spôsobená v dôsledku rozdielnych koeficientov teplotnej rozťažnosti vrstiev, pôvodná rovinná kruhová doska substrátu sa po nanosení vrstvičky deformuje na dutú, alebo vypuklú plochu. Z hľadiska ďalšieho technologického spracovania však táto deformácia nesmie presiahnuť prípustné hodnoty, preto jej meranie je veľmi dôležité. Optické metódy svojou bezkontaktnosťou merania sú na tento účel veľmi vhodné. Merané deformácie substrátov sú však často tak veľké, že klasické interferometre obvykle používané pri meraní, sú príliš citlivé. Z tohoto dôvodu sme teoreticky zdôvodnili a realizovali tzv. metódu merania povrchových sklonov. Metóda bola navrhnutá F.P. Chiangom [1] a predstavuje v podstate modifikáciu klasickej Ronchiho metódy. Metóda vizualizuje v podobe interferenčných čiar derivácie normálovej zložky povrchovej deformácie, je preto vhodná najmä pri meraní konštrukčných prvkov typu tenkých dosiek. Jej optická schéma je na Obr.1. Šošovka L vytvára pomocou bodového /alebo "štrbinového"/ zdroja svetla S rovnobežný zväzok lúčov, ktorý dopadá na zrkadlovo odrazajúci povrch vzorky M. Lúče odrazené od objektu, po spätnom prechode šošovkou L a odraze na polopriepustnom zrkadle Z, pretínajú štrbiny mriežky G umiestnenej v ohniskovej rovine. Po prechode zobrazujúcou šošovkou I vzniká v rovine zobrazenia interferenčný obrazec, ktorý môžeme interpretovať podľa nasledujúceho vzťahu [2]

$$\mu_3 = \exp\left[-\frac{ikM}{f}(x^2+y^2)\right] \cdot \left[\mu_1(x,y) + \frac{f}{4\pi} \frac{\lambda}{d} \frac{\partial \mu_1(x,y)}{\partial x} + \frac{1}{4} \left(\frac{f}{2\pi} \frac{\lambda}{d}\right)^2 \frac{\partial^2 \mu_1(x,y)}{\partial x^2}\right], \quad /1/$$

kde x, y sú kartézské súradnice, λ je vlnová dĺžka svetla, k vlnové číslo, f je ohnisková vzdialenosť objektívu, M zväčšenie obrazu a d je mriežková konštanta. Vo vťahu vystupujú tri členy z rozvoja filtračnej funkcie, ktorá po vyriešení konvolučného integrálu predstavujú nultú, prvú a druhú deriváciu pôvodnej funkcie komplexnej amplitúdy $\mu_1(x,y)$. Urobením komplexného súčinu pre vyjadrenie rozloženia intenzity dostaneme vzájomné súčiny jednotlivých rádov derivácií vstupnej funkcie, čo sa na obraze prejaví ich vzájomnou moduláciou. Pre mriežku s nízkou frekvenciou /v praxi 1-5 čiar/mm/ pozorujeme prakticky len obraz objektu modulovaný čiarami prvých derivácií tvaru vstupného signálu. Z toho vyplýva, že interferenčné čiary predstavujú dôležité veličiny v teórii tenkých dosiek - derivácie priehybov dosky. Z nameraných hodnôt možno ľahko určiť aj polomer krivosti plochy.

Typický priebeh zvyškových napätí v tepelne spracovanej vzorke je na Obr.2. V práci [3] bol na základe určitých zjednodušení odvodený vzťah pre hodnoty napätia v podložke na rozhraní vrstiev

$$\sigma_1 = - \frac{2 E_1 h_1}{3(1-\nu) \varphi} ,$$

/2/

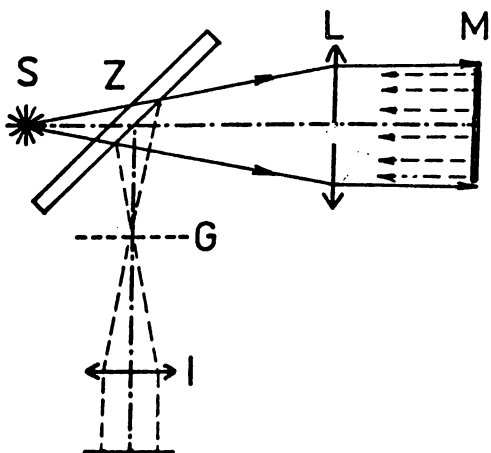
kde E_1, ν sú Youngov modul a Poissonovo číslo materiálu podložky substrátu, h_1 je jej hrúbka a φ polomer krivosti deformovanej tenkej dosky substrátu. Vzťah /2/ sme využili na vyhodnotenie napätia v kremíkovej podložke. Orientačne možno hodnotu napätia σ_1 vyhodnotiť aj na základe známych vzťahov pre priečne ohýbané dosky. Potrebné druhé derivácie priehybov sa znovu ľahko získajú z interferogramov. Chyba v určení napätia σ_1 v porovnaní so vzťahom /2/ je okolo 30%, čo však často pre kontrolu správnosti výsledkov postačuje.

Z hľadiska technického zabezpečenia meraní deformácie kremíkových substrátov pomocou metódy merania povrchových sklonov sme využili vizualizačné počítačové zariadenie TELEMET-2. Toto zariadenie predstavuje snímacu CCD kameru napojenú na 8-bitový počítač s potrebným softwareom pre záznam a spracovanie snímaných obrazov. Vzhľadom na potrebu premerať veľké množstvo vzoriek bol vytvorený obslužný program na vyhodnocovanie deformácie a napätosti a výpis protokolov merania. Interferogramy a výsledky vyhodnotenia napätosti je možné zaznamenať na tlačiarňu, čím sa plne odstránil fotografický proces.

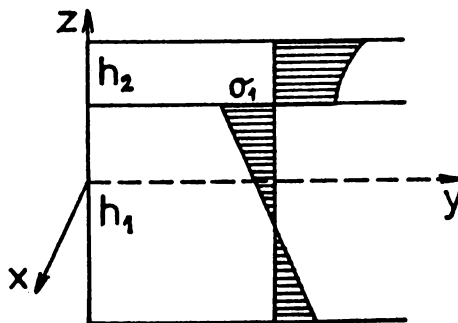
Na základe získaných výsledkov sme zmapovali vplyv jednotlivých krokov technologického procesu na deformáciu substrátov. Ukázalo sa, že existujú možnosti optimalizovať procesy tepelného spracovania z hľadiska minimalizácie nežiadúcej deformácie substrátov a tým aj zníženia zmätkovitosti výroby.

Literatúra

- 1 F.P. Chiang, Advances in Optical Metrology, SPIE 1978
- 2 Záverečná správa ÚSTARCH SAV Bratislava, III-3-1/10.3
- 3 V.S. Sergejev, Naprjaženiya i deformacii v elementach mikroschem, Moskva 1987



Obr.1



Obr.2