

Caratteristiche, specifiche tecniche e configurazione della strumentazione

La tipologia di strumentazione identificata consiste in una soluzione unica per la caratterizzazione statica e dinamica di superfici tridimensionali. La strumentazione deve comprendere tutti i componenti hardware e software necessari ad eseguire misurazioni dinamiche in tempo reale fino ad almeno 190 fotogrammi al secondo in diverse condizioni ambientali (in aria o in accoppiamento a un liquido) con risoluzione verticale inferiore al nanometro. La strumentazione deve inoltre essere dotata degli opportuni moduli hardware utili ad estendere il range di frequenza di caratterizzazione mediante sincronizzazione delle sorgenti ottiche e dei sistemi di acquisizione dell'immagine con l'elettronica di eccitazione del dispositivo MEMS sotto esame fino ad almeno 25 MHz. La strumentazione deve consentire misurazioni simultanee dello spostamento statico e dinamico *in-plane* e *out-of plane* su tutta la gamma di frequenze, senza che vi sia una dipendenza delle prestazioni dalla frequenza.

Caratteristiche della strumentazione

Possibilità di acquisizione della topografia 3D sull'intero campo visivo senza alcuna scansione laterale o verticale, consentendo:

- Misurazioni in tempo reale fino a 10^6 punti e 190 fps con fotocamera standard
- Risoluzione ottica laterale fino a 400 nm e risoluzione delle immagini fino a 150 nm/pixel
- Acquisizione stroboscopica a impulsi laser della sequenza temporale topografica 3D fino a 25 MHz
- Ricostruzione (anche de-correlata) degli spostamenti *in-plane* e *out-of-plane*, e delle mappe di vibrazione a partire dalla sequenza temporale della topografia 3D
- Visualizzazione dei dati acquisiti mediante diverse rappresentazioni grafiche 2D e 3D statiche e dinamiche
- Per ogni punto, stima della posizione, altezza, velocità e accelerazione e correlazione tra grandezze cinematiche ed elettriche per la ricostruzione della risposta elettromeccanica del dispositivo MEMS sotto esame.

Specifiche tecniche

1. Specifiche generali del sistema di misura

- Microscopio olografico digitale (DHM) a doppia lunghezza d'onda per misurazioni topografiche 3D statiche e dinamiche e analisi in tempo reale fino a 190 fps
 - o Risoluzione verticale da 200 nm a 6 μm
 - o Intervallo di misura verticale fino a 200 μm
 - o Altezza massima di discontinuità verticali pari a 2 μm
 - o Gamma di velocità fino a 50 m/s
- Acquisizione senza scansione sull'intero campo visivo di un ologramma di 1024x1024 pixel in un singolo fotogramma
 - o Possibilità di misurazioni differenziali tra punti qualsiasi nel campo visivo
 - o Bassa sensibilità alle vibrazioni
- Laser a bassa intensità per prevenire il riscaldamento del campione sotto esame
- Ottiche

- o Torretta per almeno 6 obiettivi per un rapido cambio di ingrandimento con lunghezza parafoale pari a 45 mm
 - o Supporto per ingrandimenti da 1,25x fino a 100x, inclusa immersione e correzione del vetro, lunga distanza di lavoro ed elevata NA
 - o Risoluzione laterale pari a 2,5 pixel
- Campo visivo fino a 5000x5000 μm^2
- Misurazione della topografia attraverso il vetro fino ad almeno 2 mm di spessore per ingrandimenti da 2,5x fino a 20x con una distanza di lavoro maggiore di 4,5 mm
- Misure statiche
 - o Acquisizione rapida nell'ordine dei millisecondi
 - o Frequenza di acquisizione video 190 Hz
 - o Risoluzione verticale <1nm

2. Misurazioni MEMS

- Supporto della modalità sincrona per la visualizzazione della topografia 3D del MEMS sotto esame con possibilità di interazione in tempo reale
 - o Frequenza di acquisizione massima per misurazioni 3D a pieno campo visivo pari ad almeno 25 MHz
 - o Analisi di risonanze non lineari attraverso scansione continua della frequenza con possibilità di impostazione della direzione di scansione
 - o Durata minima dell'impulso laser pari a 7,5 ns per la misurazione di velocità verticali fino a 20 m/s
 - o Risoluzione topografica pari alla modalità statica
 - o Vibrometria (senza l'uso di sistemi antivibrazione; specifiche indipendenti dalla frequenza di eccitazione):
 - ☐ Risoluzione spostamento *out-of-plane* pari a 6 pm
 - ☐ Risoluzione velocità *out-of-plane* pari a 1 $\mu\text{m/s}$
 - ☐ Risoluzione spostamento *in-plane* pari a 10 nm
 - ☐ Campo visivo pari a 1024x1024 punti senza scansione
- Elettronica di eccitazione MEMS
 - o Intervallo di frequenza: 1Hz - 25 MHz con risoluzione pari a 0,1 Hz.
 - o Possibilità di eccitazione e sincronizzazione interna o esterna tramite segnali TTL 3.3-5V
 - o Generazione di forme d'onda a singolo canale con supporto fino a 4 canali:
 - ☐ Forme d'onda periodiche, impulsate e arbitrarie: senoide, burst, onda quadra, onda triangolare, definita dall'utente
 - ☐ Ampiezza da 0 a ± 10 Volt, precisione $\pm 2\%$, risoluzione 14 bit, uscita a 50 Ω
 - ☐ Offset da 0 a ± 10 Volt con una precisione pari a $\pm 2\%$
- Acquisizione di segnali elettrici e analisi dei dati
 - o 2 ingressi analogici (da -10 V a +10 V) e 2 digitali 3,3-5 V TTL per canale, sincronizzata con la misura

o Risposta impulsiva e in frequenza

☐ Diagrammi di Bode, analisi di risonanze e transitori

Configurazione

- Microscopio olografico digitale in configurazione a riflessione a doppia lunghezza d'onda che includa:
 - o Torretta porta obiettivi manuale a 6 posizioni
 - o Modulo sorgente laser 675 ± 1 nm con accoppiamento in fibra ottica
 - o Modulo sorgente laser 794 ± 1 nm con accoppiamento in fibra ottica
 - o Regolazione della lunghezza del percorso ottico per obiettivi multipli e misurazione attraverso vetro di copertura o in accoppiamento a liquido
 - o Alimentazione a 220 V, 50 Hz
- Sistema di acquisizione immagini
 - o Velocità di acquisizione: 190 fps
 - o Dimensione immagini: 1024x1024 pixel
- Obiettivi
 - o Obiettivo per misurazioni in aria Ingrandimento 2,5x, (NA = 0,07, WD = 11,2 mm, FOV = max 2640 μ m)
 - o Obiettivo per misurazioni in aria Ingrandimento 5x, (NA = 0,12, WD = 14,0 mm, FOV = max 1320 μ m)
 - o Obiettivo per misurazioni in aria Ingrandimento 10x, (NA = 0,3, WD = 11,0 mm, FOV = max 660 μ m)
 - o Obiettivo per misurazioni attraverso vetro di copertura fino a 2 mm, ingrandimento 20x, lunga distanza di lavoro, (NA = 0,4, WD = 6,9 mm, FOV = max 330 μ m)
 - o Obiettivo per misurazioni attraverso vetro di copertura fino a 2 mm, ingrandimento 40x, lunga distanza di lavoro, (NA = 0,6, WD = 3,3-1,9 mm, FOV = max 165 μ m)
- Struttura
 - o Breadboard ottica di supporto a nido d'ape 600x600x55 mm con fori filettati M6 centrali da 25 mm
 - o Supporto microscopio con regolazione manuale dell'altezza pari a 250 mm
- Modulo stroboscopico impulsato (7,5 ns) a un canale USB
 - o Intervallo di frequenza: da 1Hz a 25MHz
 - o Sincronizzazione interna ed esterna
 - o Generazione di forme d'onda periodiche, impulsive e arbitrarie

- o Uscita 50 Ω per l'eccitazione del MEMS con ampiezza massima 10 V
 - o 2 ingressi digitali e 2 ingressi analogici (ampiezza massima 10 V)
 - o Controllo via software
- Personal computer con almeno
 - o Processore Intel Xeon W-2123 (cache 8,25 Mo, fino a 3,9 GHz)
 - o Sistema operativo: Windows 10 Professional 64
 - o Memoria RAM: 16 GB RDIMM DDR4 2666 MHz ECC
 - o Disco rigido: SSD 512 GB + HDD 1 TB
 - o Scheda grafica: Nvidia GeForce GTX 1650 GDDR5 (4 GB)
 - o Schermo da 24 "
- Software per il controllo della strumentazione, per l'analisi in tempo reale e per la post-elaborazione delle misure con la possibilità di utilizzo offline su almeno due computer. Il software deve permettere la rappresentazione 2D e 3D, statica e dinamica, dei dati acquisiti e l'importazione ed esportazione dati nei formati ASCII, binario, CSV e AVI.
- Software per la post-elaborazione per eseguire analisi dettagliate e precise della risposta dinamica 3D dei MEMS, che comprenda la ricostruzione di
 - o Topografie 3D statiche e dinamiche
 - o Vibrometria *in-plane* e *out-of-plane*
 - o Risposta elettromeccanica nel tempo e in frequenza
 - o Mappe di vibrazione
- Modulo hardware e software per il collegamento TCP/IP della strumentazione per il controllo e l'automazione dell'acquisizione e dell'analisi con un software esterno per la sincronizzazione tra più strumenti, comprensivo di librerie per lo sviluppo di applicazioni in Labview, Matlab, C++.
- Piattaforma di *probing* compatibile con sistema di micro-posizionamento manuale per chip (dimensioni minime 4 mm) e wafer da 4 ", 6" e 8 "comprensiva di:
 - o 2 micro-posizionatori magnetici con intervallo XY 7 mm, risoluzione XY <20 micron e intervallo verticale (Z) 25 mm per *probe* dotati di cavi di lunghezza 1500 mm, impedenza 50 Ohm e terminali BNC
 - o Set di 10 punte al carburo di tungsteno
 - o Morsetti meccanici e sistema a vuoto per trattenere il campione con intervallo di rotazione $\pm 10^\circ$ per l'allineamento
- Pompa a vuoto per il fissaggio di chip o wafer sulla piattaforma di *probing*

Caratteristiche fisiche ed elettriche e punto di installazione

La nuova strumentazione, dalle dimensioni stimate pari a 600 x 600 x 800 mm e dal peso non superiore ai 50 kg, sarà installata a banco presso il laboratorio di caratterizzazione (stanza 18, piano terra, Laboratorio di Acustoelettronica, via della Vasca Navale 84). Per quanto riguarda le caratteristiche elettriche con particolare riferimento ai requisiti di alimentazione, data la ridotta potenza della componentistica interna si prevede di alimentare la strumentazione utilizzando la tensione di rete (220 V, 50 Hz) con assorbimento massimo non superiore a 4 A.