

## CONCLUSIONI

L'attività del presente progetto di Dottorato di Ricerca si è concentrata nella identificazione e caratterizzazione di polimeri come substrati primari, e nello sviluppo delle relative tecnologie di trasformazione per la realizzazione di sistemi miniaturizzati multifunzionali come micro-attuatori e display piatti, basati su polimeri funzionali, substrati polimerici e silicio depositato a bassa temperatura.

La ricerca, condotta nell'ambito di un progetto co-finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca denominato "MICROPOLYS" (Microsistemi a base di polimeri) che intende integrare competenze consolidate sulle tecniche di sintesi e caratterizzazione di polimeri con quelle altrettanto consolidate di sintesi di materiali e fabbricazione di microcircuiti realizzati con materiali inorganici, si è avvalsa della collaborazione di diversi Enti ed Istituti di Ricerca tra i quali il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e l'Ente per la Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA) nella sua sede di Portici.

I materiali polimerici selezionati, PET ed AryLite™, sono stati caratterizzati al fine di valutarne l'adeguatezza per l'impiego quali substrati nel processo di deposizione e crescita di film di silicio policristallino.

Attraverso lo studio della stabilità dimensionale e del comportamento meccanico, i polimeri sono risultati adeguati allo scopo. I trattamenti termici di stabilizzazione dimensionale messi a punto ed ottimizzati per entrambi i substrati hanno consentito di incrementare l'intervallo di temperatura nel quale i materiali risultano processabili, determinando, pur con un aumento dei costi, un sensibile miglioramento in termini di qualità e riproducibilità del processo, aspetti questi ultimi fondamentali in chiave di mercato.

Anche le modifiche apportate nel processo di deposizione, in collaborazione con i tecnici ed i ricercatori del centro ENEA di Portici, hanno permesso di migliorare ulteriormente le condizioni di processo. La preventiva deidrogenazione e la preliminare deposizione di uno strato di ossido di silicio, hanno consentito una soddisfacente protezione del substrato polimerico durante la cristallizzazione sia dal punto di vista termico che dal punto di vista chimico.

Permangono al momento, relativamente all'impiego del PET, delle perplessità legate ai problemi di cattiva adesione evidenziati dallo spontaneo allontanamento nel tempo degli strati inorganici depositati. A tal riguardo, sono in corso tentativi di accrescere le proprietà di adesione del sistema substrato/film attraverso l'impiego di promotori di adesione

quali i silani, dopo un opportuno trattamento di funzionalizzazione del substrato.

Al fine di migliorare l'affidabilità e le prestazioni del dispositivo ottenuto attraverso deposizioni successive di film sottili inorganici sul substrato polimerico, si è proceduto ad una analisi, sia statica che dinamica, che attraverso diversi modelli di simulazione consentisse di raccogliere informazioni utili per l'ottimizzazione del design.

Per le suddette simulazioni sono stati utilizzati come dati di input le proprietà meccaniche dei singoli componenti del dispositivo, nel range tra valore minimo e massimo considerabile per ognuna di esse.

Dall'analisi statica non sono emersi fenomeni di failure della struttura se si considerano i valori massimi delle proprietà meccaniche. Esiste, dunque, un margine per l'ottimizzazione del design; tuttavia diverse combinazioni tra gli spessori di silicio, ossido e substrato polimerico sono possibili, e attraverso ulteriori studi di affidabilità occorrerà stabilire la combinazione migliore.

L'analisi dinamica ha evidenziato, invece, una deformazione plastica permanente del materiale polimerico nella simulazione di un impatto a bassa velocità da parte di un indenter (una stilo oppure un corpo estraneo di diversa geometria). Tuttavia non sono emersi fenomeni di failure degli strati superficiali sottili fino a considerare una velocità di impatto di

50cm/s. Proprio l'intervallo tra i 50cm/s e 1m/s andrebbe studiato in maniera più approfondita al fine di determinare il valore di soglia per la velocità di impatto, ecceduto il quale si registrano fenomeni di failure.

Tenuto conto che impatti a velocità superiore ai 50cm/s sono da considerare di natura puramente eccezionale in considerazione dell'ambito di applicazione del dispositivo, la simulazione dell'evento quasi statico a bassa velocità ha fornito sicuramente i dati più rappresentativi per l'analisi dinamica. La deformazione plastica del core polimerico è risultata pari a circa il 20% del suo spessore, un valore per il quale la funzionalità del dispositivo è salvaguardata. Tuttavia nell'ottica di un incremento del ciclo di vita della struttura, la deformazione permanente del polimero in seguito all'impatto dovrebbe essere sostituita da un recupero elastico con una profondità residua di indentazione nulla.

Inoltre, un processo di simulazione che fornisca una previsione attendibile del comportamento della struttura in risposta ai diversi carichi applicabili, non può prescindere da una dettagliata caratterizzazione dell'interfaccia. Quest'ultima dovrà essere, pertanto, oggetto di future indagini.