

Programma SHORT TERM MOBILITY 2017
Relazione scientifica finale

Trento, 04/04/2018

Titolo del progetto: "Sensori multiselettivi a base di nanostrutture in ossidi metallici"

Fruitore: Matteo Tonezzer

Istituto d'afferenza: Istituto dei materiali per l'elettronica ed il magnetismo (IMEM) - CNR

Istituzione ospitante: School of Materials Science and Engineering, INHA University (Incheon, S. Korea)

Periodo: 07 -27 febbraio 2018

Sintesi

L'attività di collaborazione e ricerca scientifica svolta presso la School of Materials Science and Engineering della INHA University (Incheon, in Corea del Sud) permette di unire sinergicamente e sviluppare ambiti differenti dell'attività lavorativa del fruitore. La collaborazione nel laboratorio del Prof. S. S. Kim è infatti servita ad approfondire e condividere le reciproche competenze sulla crescita di nanostrutture di ossidi metallici, che ad iniziare una stretta collaborazione sull'analisi dei dati provenienti dai sensori con algoritmi di machine learning. Lo scopo del progetto di collaborazione è infatti lo sviluppo di nanosensori di gas resistivi in grado non solo di rilevare la presenza di gas, ma di identificare quale gas è presente e in che concentrazione.

Descrizione

Durante il periodo presso la INHA University è stato possibile visitare molti istituti e laboratori con differenti tecniche di crescita e di caratterizzazione per materiali nanostrutturati. Alcuni campioni di nanofili di ossido di stagno e di ossido di zinco sono stati cresciuti per mezzo di CVD (chemical vapor deposition) con in modo da essere usati come sensori resistivi a multi-nanofilo. È stata utilizzata un'architettura di tipo on-chip (ovvero cresciuti direttamente dagli elettrodi che poi fungono da contatti elettrici) in modo da ottimizzare il contatto tra l'ossido metallico e gli elettrodi e non creare barriere ai portatori di carica. Il sensore originale misura 0.8x0.5 mm, diventando 2x2 mm una volta inclusi anche gli elettrodi di connessione. In Figura 1 è mostrata la fotografia di un sensore: si può vedere la zona attiva (il vero e proprio sensore) di cui sono indicate le dimensioni, e i due grossi contatti elettrici usati per connetterlo al sistema di misura.

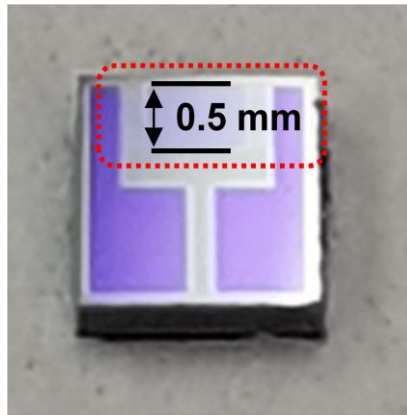
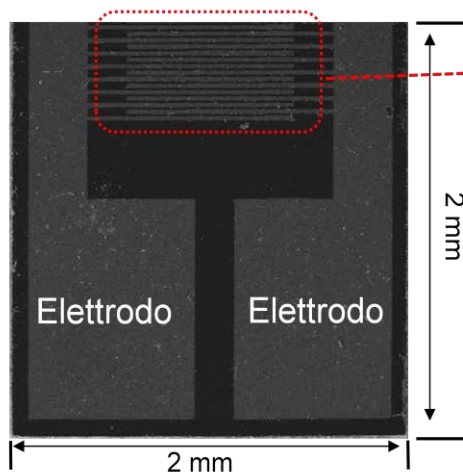


Figura 1: fotografia del sensore.

Questo tipo di dispositivo, chiaramente adatto all'integrazione per merito delle sue dimensioni, difetta purtroppo di selettività. Gli ossidi metallici rispondono molto bene a variazioni dell'atmosfera gassosa che li circonda, ma purtroppo rispondono quasi a OGNI variazione, e quindi è quasi impossibile capire quale gas sta provocando la risposta del nanosensore.

In Figura 2 è possibile vedere un'immagine SEM (microscopio a elettroni secondari) del sensore interdigitato (a sinistra), un ingrandimento della zona con gli elettrodi e il materiale attivo (nanofili) e infine una schema laterale in sezione del substrato con i contatti elettrici su cui sono cresciuti i nanofili.

Dispositivo



Vista dall'alto



Vista laterale



Figura 2: a sinistra un'immagine SEM dell'intero dispositivo (sensore interdigitato in alto ed elettrodi di connessione in basso); a destra in alto uno zoom che mostra alcuni elettrodi e lo spazio fra essi; a destra in basso uno schema laterale che mostra il substrato con gli elettrodi (in titanio e platino) su cui poi vengono cresciuti i nanofili.

Il secondo passo, volto ad aumentare l'intensità di risposta del sensore, è stato quello di decorare la superficie dei nanofili con nanoparticelle di platino. Gli effetti di queste nanoparticelle, che creano una zona di svuotamento ed agiscono come catalizzatore per le reazioni ossido - gas, funzionano per ogni gas ed aumentano quindi la sensibilità del sensore, ma non la sua selettività. Questo passo della procedura viene effettuato per radiolisi e porta ad un materiale nanostrutturato come quello che si può vedere in Figura 3.

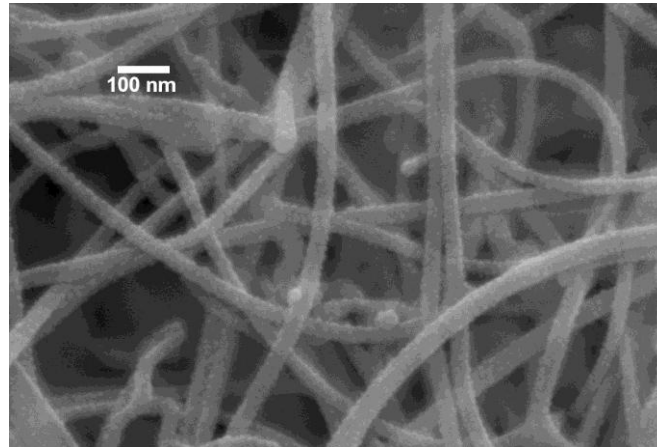


Figura 3: nanofili di ossido di stagno decorati con nanoparticelle di platino.

Questo tipo di architettura (dai contatti al tipo di crescita, al materiale e alla sua funzionalizzazione superficiale) rappresenta lo stato dell'arte più avanzato per quanto riguarda questo tipo di dispositivi.

La collaborazione prosegue con il processing dei dati forniti dal sensore: ponendo il dispositivo in una distribuzione termica adeguata, è possibile ottenere delle impronte termiche specifiche per ogni gas, che crescono con la sua concentrazione, ma mantengono un andamento caratteristico.

Queste impronte termiche vengono poi trasformate in punti di una risposta multidimensionale. Un set di dati multidimensionali viene usato per addestrare il sensore, mentre altri set di dati vengono utilizzati per testare le prestazioni del sistema-sensore stesso. I primi risultati ottenuti sono stati molto promettenti: tutti i punti sono stati identificati correttamente, per una classificazione perfetta del 100%, a riprova che questo nuovo approccio può estrarre selettività anche da sensori resistivi, intrinsecamente non-selettivi.

Una valutazione qualitativa delle prestazioni del dispositivo realizzato si possono apprezzare in Figura 4, in cui sono mostrate le prime tre componenti dei set di dati multidimensionali derivati dalle impronte termiche.

Per quanto queste componenti siano una riduzione dei dati reali (non rappresentabili visivamente), la buona distinzione che il sensore esegue nel caso dei cinque gas in esame è palese.

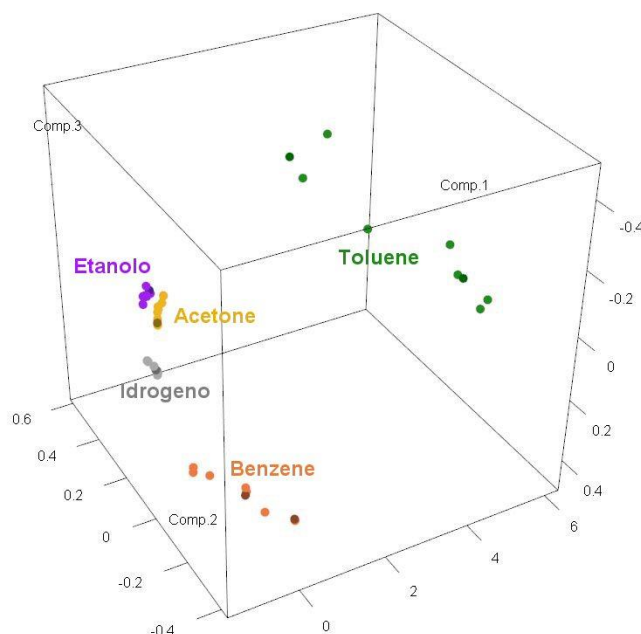


Figura 4: tre componenti principali che evidenziano la buona distinzione tra i gas.

Il cervello del sensore, che può lavorare sfruttando l'intera dimensionalità dei dati, può essere programmato per ottenere anche una stima quantitativa della concentrazione del gas presente. I primi risultati ottenuti sono molto buoni: l'errore medio sulla misura di un qualsiasi gas è di circa il 14%, che scende a meno del 3% per alcuni specifici gas. Questi primi risultati dimostrano che questo approccio è efficace non solo per ottenere selettività qualitativa (categorizzazione del gas presente), ma anche per stimarne con discreta precisione la concentrazione.

Inoltre, dal momento che non si basa su legami chimici specifici o morfologie esclusive, questa tecnica può essere adoperata trasversalmente, in qualsiasi applicazione e per qualsiasi tipo di gas.

Risultati ottenuti

La collaborazione con il prof. Sang Sub Kim e il suo gruppo, e più in generale con la INHA University è solida e fruttuosa, ed il periodo trascorso ad Incheon grazie al programma Short Term Mobility ha permesso di concretizzarla positivamente.

I risultati della visita di collaborazione scientifica sono positivi ed è attualmente in fase di ultimazione la scrittura di un articolo scientifico che verrà sottomesso su una delle riviste internazionale più importanti del settore.

Ulteriori analisi sono in corso per cercare di sfruttare, nel medio e lungo periodo, le complementarietà tra le competenze dei due gruppi ed ampliare la collaborazione scientifica.