

## Relazione finale assegno di ricerca

<b>Assegnista (Nome e cognome)</b>	Pramod Kumar
<b>Titolo del progetto</b>	Sviluppo e integrazione di sistemi multi-attuativi basati su servo per interfacce robotiche ad alte prestazioni
<b>Acronimo del progetto EU - Grant n.</b>	SCN ADAPT SIN 00132 PARLOMA
<b>Durata/Periodo di riferimento per assegni pluriennali</b> <i>(da - a, per gg/mm/aaaa)</i>	Dal 16 Ottobre 2017 al 15 Ottobre 2018
<b>Tutor/s</b> <i>(Nome e cognome del/dei docente/i)</i>	Dr. Calogero Maria Oddo (Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA), Pisa) Prof.ssa Anna Cardinaletti (Univ. Ca' Foscari, Venezia)
<b>Tipologia di assegno</b> <i>(Indicare se d'area o su progetto specifico)</i>	Assegno su progetto
<b>Settore/i Scientifico Disciplinare (SSD) di riferimento</b>	ING-INF/04 – Automatica
<b>Anno di attivazione/eventuale numero annualità di rinnovi</b>	2017

### Abstract e parole chiave in Italiano

*(Non più di 700 caratteri spazi esclusi; scegliere max 4 parole chiave)*

Il lavoro di ricerca è stato principalmente incentrato su studi preliminari, sviluppo e realizzazione di sensori e attuatori basati su ZnO nanorod a basso costo per l'applicazione nella comunicazione di persone sordocieche utilizzando su un braccio e una mano biomimetici robotici. ZnO è un composto non tossico e biocompatibile e può essere sintetizzato facilmente con il metodo idrotermale a basso costo. I nanorod di ZnO possono essere concentrati su substrati d'oro a temperature inferiori a 100 ° C con sale iniziale di nitrato di zinco e soluzione di esametiltetramina in acqua, sciogliendo in uguale concentrazione e leggera aggiunta di idrossido di ammonio. Le specifiche di progetto più caratteristiche sono il budget di realizzazione del prototipo relativamente basso e l'elevata mobilità e controllo necessari al robot per riprodurre i gesti dei linguaggi dei segni tattili. Attraverso una fase di valutazione iniziale, basata su specifiche, i primi nanorod ZnO vengono selezionati a causa della bassa crescita della temperatura, che lo rende un ottimo candidato nei substrati flessibili. Si è riscontrato che la crescita in alta densità richiede una concentrazione di 60 mM di nitrato di zinco ed esametiltetramina. L'aspetto razionale dei nanorod ZnO può essere variato dai diversi parametri di crescita come la temperatura di crescita, il tempo di crescita e la concentrazione. I nanorod ZnO allineati verticalmente possono essere ottenuti con ricottura del substrato a 300 ° C per substrati di silicio e 100 ° C per substrati flessibili che modificano la ruvidità e la morfologia dello strato d'oro. Durante e dopo lo sviluppo e la realizzazione dei nanorod ZnO, sono stati condotti test dei sensori intali per convalidare le soluzioni tecnologiche o per evidenziare problemi funzionali che, in molti casi, sono stati risolti e risolti. I sensori sono stati realizzati su substrati rigidi e flessibili in configurazioni a strato singolo e sandwich.

Sensori e attuatori low cost basati su nanorod ZnO

**Abstract e parole chiave in Inglese**

*(Non più di 700 caratteri spazi esclusi; scegliere max 4 parole chiave)*

The research work has been mainly focused on preliminary studies, development and realization of low cost zno nanorods based sensors and actuators for application in communication of deafblind people by using it on a biomimetic robotic upper limb and hand. ZnO is a non toxic and biocompatible compound and can be synthesized easily with low cost, low temperature hydrothermal method. The nanorods of ZnO can be grown on gold substrates at below 100°C temperatures with initial salt of zinc nitrate and hexamethyltetramine solution in water by dissolving in equal concentration and slight addition of ammonium hydroxide. Through an initial valuation phase, based on specifications, first ZnO nanorods are selected due to its low temperature growth which makes it very good candidate in flexible substrates. It is found that the growth on high density requires 60mM concentration of zinc nitrate and hexamethyltetramine. The aspect ratio of the ZnO nanorods can be varied by the different growth parameters like temperature of growth, time of growth and concentration. Vertically aligned ZnO nanorods can be achieved with substrate annealing at 300°C for silicon substrates and 100°C for flexible substrates which changes the roughness and morphology of the gold layer. Throughout and after the development and realization of the ZnO nanorods, initial sensors tests have been conducted validating the technological solutions or pointing out functional issues that, in many cases, have been addressed and solved. The sensors have been realised on both hard and flexible substrate in single layer and sandwich configurations.

**ZnO nanorods based lowcost sensors and actuators****Obiettivi del progetto**

*(Specificare gli obiettivi della ricerca - Eventuali WP di riferimento)*

The main objectives of this work, carried out within the WP2 "New low-cost haptic interface", are:

- Preliminary study of the ZnO growth process for vertical and high density nanorods
- Preliminary analysis of factors which can affect aspect ratios of ZnO
- Preliminary analysis of factors which can give rise to vertical nanorods
- Development of ZnO based sensors on hard and flexible substrates
- Realization and validation of complete prototypes both on hard and flexible substrates.

**Attività di ricerca svolta e risultati raggiunti**

*(Illustrare dettagliatamente l'attività svolta rispetto a quanto richiesto dal bando e indicato nel progetto. In caso di richiesta di rinnovo, specificare anche le prospettive future che motiverebbero il prosieguo della ricerca)*

Literature survey and closely analyzing the results by different groups show that ZnO nanorods are grown on both flexible and rigid substrates with or without ZnO seeds by hydrothermal growth. The hydrothermal method is optimized for solution concentration, pH, temperature and time of growth. Temperature dependence studies show increase in ZnO nanorod length and diameter with an overall increase in aspect ratios with optimized temperatures ranging from 70°C to 90°C with better results at higher temperatures ~80-90°C. Most studies show good result with equal concentrations of Zinc nitrate and HMTA between 10 to 100mM in deionized water. Most studies suggest the substrates are kept upside down floating on the solution in closed container or an autoclave reactor. The optimized growth time was found to be in between 5-24 hours for fully grown and high aspect ratios. These studies suggested the use of ~60mM solution concentration, temperature window of 65-95°C and time window between 6-24hours. The hydrothermal method is optimized for 60mM solution concentration for both two-step growth procedure and one step growth at lower temperatures (85°C) and 16 hours of growth time. The results show high density ZnO nanorods can be achieved without complex seeding methods like sputtering and using different chemicals for spin coating ZnO nanoparticles. The verticality can also be achieved by annealing the substrate at high temperatures in one step growth procedure. It is found that the nanorods can be tuned for its aspect ratio by changing time of growth and concentration. Tactile sensor devices were successfully developed on both hard Silicon and flexible Kapton substrates. The piezoelectric coefficient in ZnO nanorods is from 3-20 pm/V which results in small vibrations this makes multiple layer actuator a viable possibility for actuation.

**Prodotti della ricerca / Standard minimo di risultato \***

*(Indicare i prodotti della ricerca, anche nel rispetto dello standard minimo di risultato indicato nel bando).*

**Se contribuito su rivista, specificare:**

- tipo di rivista, se di fascia A, B o altro,
- lingua,
- eventuale peer o blind review,
- eventuale comitato scientifico,
- eventuale Scopus o altra banca dati.

**Se pubblicazione in volume o monografia, specificare:**

- casa editrice e/o collana,
- lingua,
- eventuale peer o blind review,
- eventuale comitato scientifico nazionale/internazionale,
- eventuali recensioni.

*Fornire alla Segreteria i prodotti della ricerca in pdf navigabile, via e-mail o su supporto digitale.*

I. Cesini, P. Kumar, A. Fraleoni Morgera, C. M. Oddo, **ZnO nanorod array-based tactile transducers for biomedical applications**, GNB2018, June 25th-27nd 2018, Milan, Italy

**Partecipazione a convegni, conferenze, seminari e giornate di studio, nazionali e internazionali**

*(Indicare la partecipazione a incontri scientifici e specificare se in qualità di relatore/trice, discussant o uditore/trice)*

**Esperienze di mobilità**

*(Indicare periodi di studio/ricerca svolti all'estero: durata e sede ospitante)*

**Partecipazione a progetti nazionali o internazionali e inserimento in gruppi di ricerca**

*(Indicare eventuali progetti e/o gruppi di ricerca nei quali si è coinvolti)*

**Relazioni esterne attivate nell'ambito della ricerca**

*(Indicare le relazioni esterne attivate con altri dipartimenti/enti/istituzioni pubbliche o private; la partecipazione a comitati scientifici o editoriali di riviste o collane)*

**Attività svolte al di fuori dell'ambito di ricerca del progetto**

*(Indicare altre attività scientifiche/didattiche svolte)*

**Data**

**11/10/2018**

**Firma dell'assegnista**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Pramod K. W.", is written in a cursive style within a rectangular box.

\*NB: Per la valutazione dell'esito dell'assegno di ricerca si considereranno validi solo i contributi già pubblicati al termine del progetto o in fase avanzata di pubblicazione.

Se in fase di pubblicazione, l'assegnista dovrà presentare il testo completo in bozza e un'attestazione di invio e accettazione dello stesso da parte della casa editrice/curatore/board. Non saranno considerati validi ai fini della valutazione dei semplici abstract.

In caso di coautoraggio si chiede di certificare quali parti della pubblicazione menzionate sono imputabili all'assegnista, (p.es. Articolo X, contributi di Nome Assegnista da p. .... a p. ...., da p. ... a p. ....).