

RELAZIONE SCIENTIFICA RELATIVA AL PROGRAMMA DI SHORT TERM MOBILITY:

Fotorivelatori a base di eterostrutture AlGaA/GaAs contenenti gas bidimensionali/monodimensionali di elettroni

svolta dal dott. A.Cola presso la Drexel University (Philadelphia, USA)
nel periodo 31/5/2008- 23-6/2008

L'attività svolta nel corso della Short Term Mobility si è focalizzata su un particolare aspetto della problematica relativa alla realizzazione di dispositivi optoelettronici realizzati a partire da gas elettronici a dimensionalità ridotta, presenti in eterostrutture a base di semiconduttori composti. In particolare l'attenzione è stata rivolta sullo studio delle proprietà elettriche di nanowires (NWs) a base di AlGaAs/GaAs. Per questo scopo è stata adoperata una particolare tecnica di deposizione che permette la realizzazione di nanocontatti senza ricorrere a litografie (ottiche o elettroniche) ma utilizza il fascio elettronico come ausilio per la 'scrittura' diretta dei contatti, di Platino nel presente caso. La macchina che fornisce tale fascio, possiede anche una colonna di fasci ionici che possono venire altresì utilizzati allo scopo di deposizione di nanocontatti o anche per rimuovere materiale o danneggiarlo su scala nanometrica. Tale macchina, chiamata Focused Ion Beam (FIB), è stata recentemente acquisita presso l'IMM per realizzare contatti metallici sui NWs allo scopo di realizzare dispositivi per l'optoelettronica ed è stata quindi utilizzata per preparare i (nano) contatti. Inizialmente, a Lecce, sono stati dispersi NWs, preparati presso l'IMM, su un substrato di Silicio patternato ovvero dotato di diverse strutture elettrodiche metalliche realizzate per fotolitografia (Fig.1). Quindi sono stati selezionati alcune coppie di elettrodi (identificate in Fig.1) tra le quali fossero presenti dei NWs e sono state quindi studiate ed ottimizzate diverse condizioni di deposizione dei nanocontatti di Platino: tenendo conto che la struttura del NW è 'core-shell' risulta infatti di interesse la possibilità di effettuare un contatto direttamente sul core (GaAs) dove ci si aspetta sia presente una maggiore concentrazione di portatori di carica, eventualmente un gas elettronico monodimensionale. Ciò faciliterebbe la realizzazione di contatti ohmici. Per questo scopo si è quindi utilizzata la capacità, offerta dal FIB, di rimuovere in modo selettivo del materiale (la shell di AlGaAs).

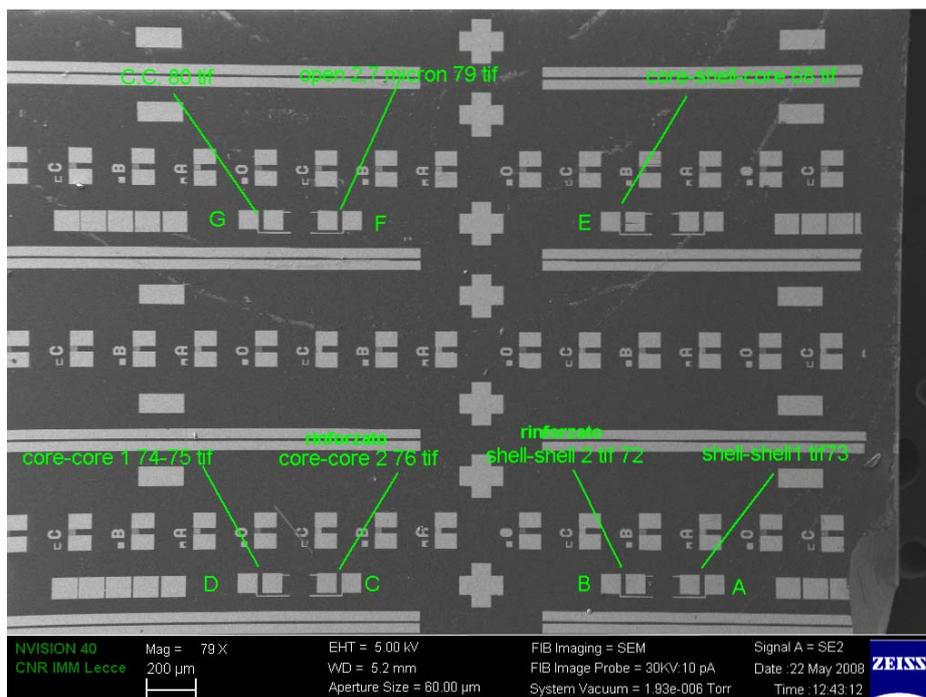


Figura 1 Immagine SEM raffigurante gli elettrodi utilizzati e la tipologia di dispositivi realizzati

A partire quindi da un NW, e' stato rimosso tramite il fascio ionico la shell alle estremita' e sono stati quindi depositati i contatti direttamente sul core (Fig.2).

Queste strutture sono state denominate core-core. Accanto a queste sono state realizzate invece strutture shell-shell, in cui cioe' non e' stata rimossa la shell e l'elettrodo e' a diretto contatto con essa. Questo tipo di contatto ha meno possibilita' di essere ohmico ma piu' facilmente risulta essere bloccante, cioe' del tipo Schottky.

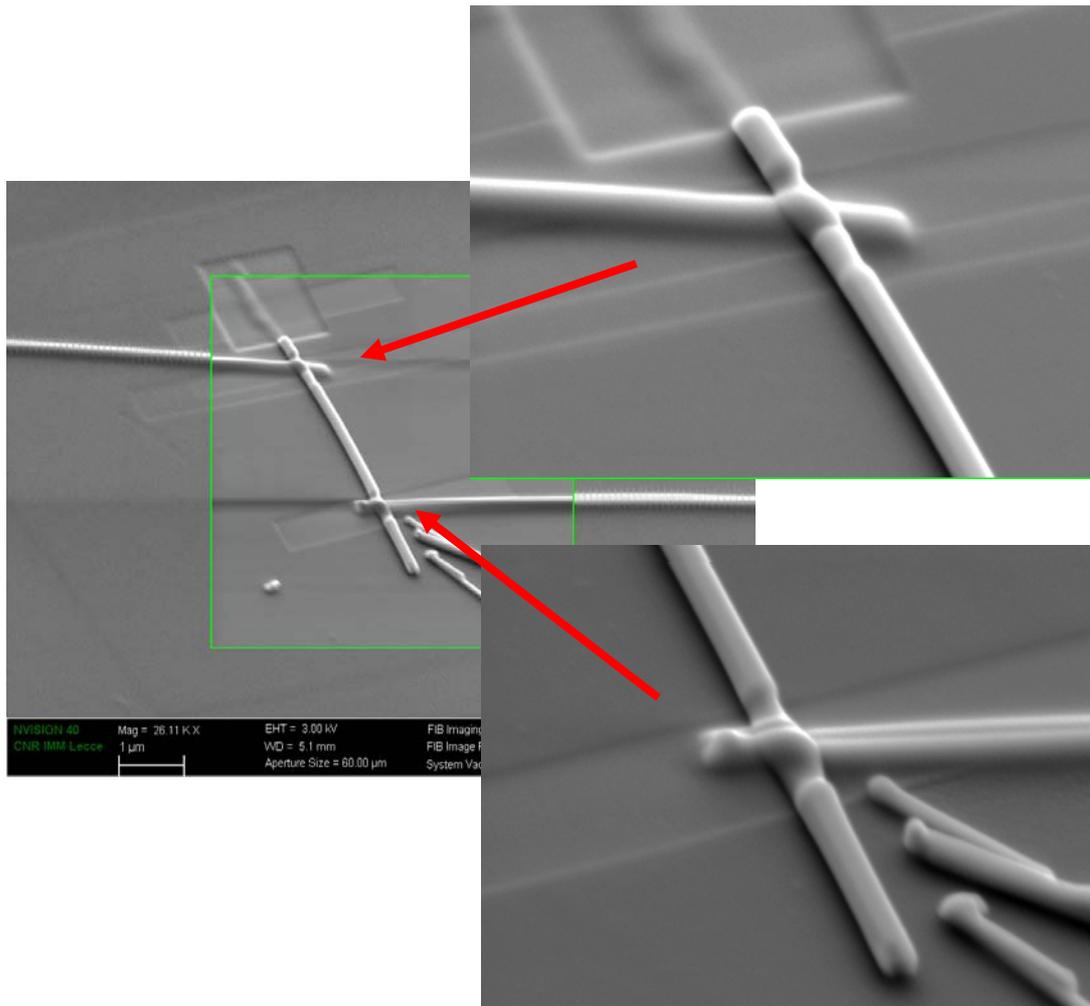


Figura 2 Immagini SEM di un dispositivo core-core. Le immagini sulla destra si riferiscono alle regioni di contatto in cui, prima della deposizione del film di Pt per e-beam, la shell del NW e' stata rimossa tramite il FIB

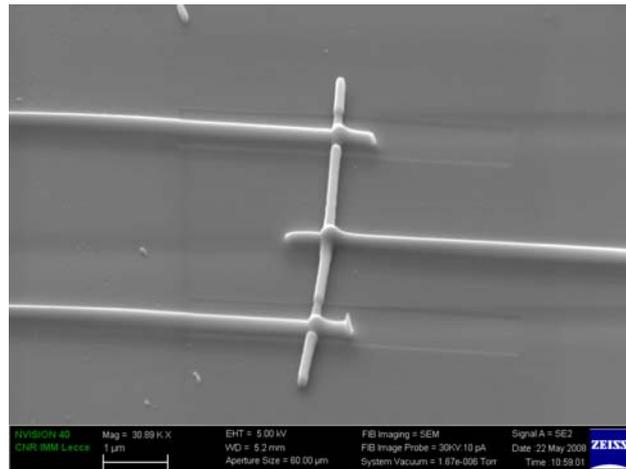


Figura 3 Immagine SEM della struttura di tipo HEMT (core-shell-core)

Infine e' stata anche realizzata una struttura a tre elettrodi dl tipo core-shell-core, con l'intenzione di ottenere quindi una struttura tipo HEMT 1-dimensionale (Fig.3). Purtroppo tale campione si e' rivelato inutilizzabile e quindi non sono state effettuate misure su di esso.

Naturalmente in tutti i proto-dispositivi realizzati un'estremita' dei contatti di Platino viene depositata sull'elettrodo macro in modo da poter poi effettuare le misure elettriche appoggiando opportune punte di probe su tali macro elettrodi. In Fig.4 si puo' osservare un dispositivo (shell-shell) completo.

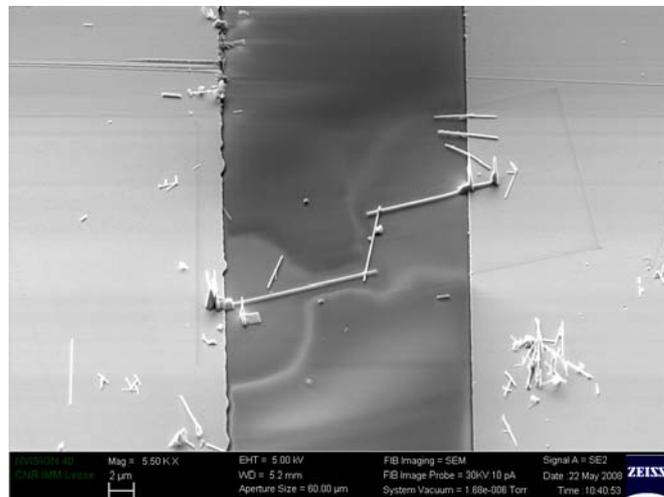


Figura 4 Immagine SEM di un NW contattato (shell-shell) alle piazzole esterne (chiare in figura).

Sono stati anche realizzati dei contatti di solo Pt: un campione di corto circuito (Fig.5) per studiare le proprietà intrinseche del Platino ottenuto mediante il FIB ed un campione di circuito aperto per verificare l'eventuale presenza di leakage dovuto alla tecnica di deposizione utilizzata (Fig.6). Nei laboratori della Drexel University si è quindi provveduto allo studio delle caratteristiche elettriche dei campioni realizzati presso l'IMM-CNR. Allo scopo è stata utilizzata una probe-station Lake-Shore dotata di quattro micromanipolatori esterni alla camera criogenica collegata, mediante un tubo di trasferimento a un dewar contenente nel caso specifico, azoto liquido.

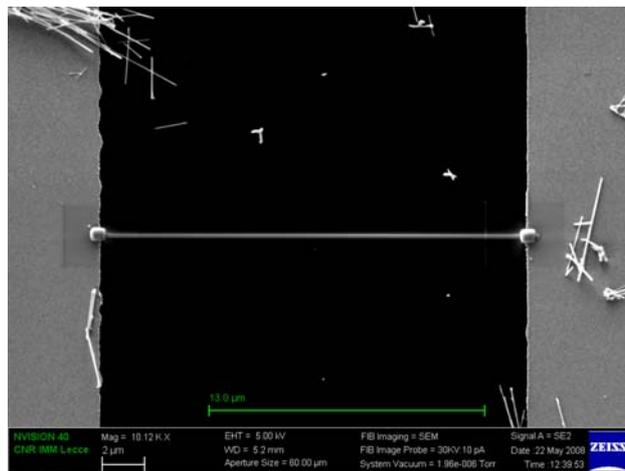


Figura 5 Campione di Pt di corto circuito: il singolo contatto di Pt mette in corto circuito le piazzole elettrodeiche

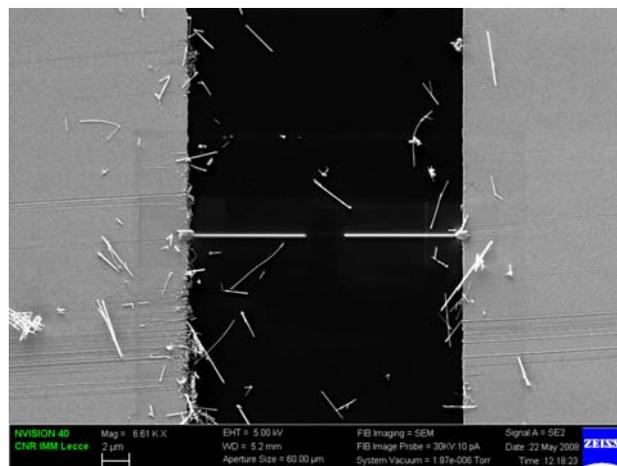


Figura 6 Campione di circuito aperto: due contatti di Pt distanti circa 1μm.

Le prime misure effettuate riguardano il campione open ed hanno confermato una corrente di leakage trascurabile ($>10^{-13}$ A @10V). Quindi e' stato esaminato il campione short, ovvero il solo contatto di Platino tra due macroelettrodi. In generale, a tutte le temperature, le misure sono consistite in cicli di tensione tra 0 e 10V, da 10V a -10V e da -10V a 0V. Come si vede in Fig.7, il comportamento e', come atteso, ohmico per tutte le temperature

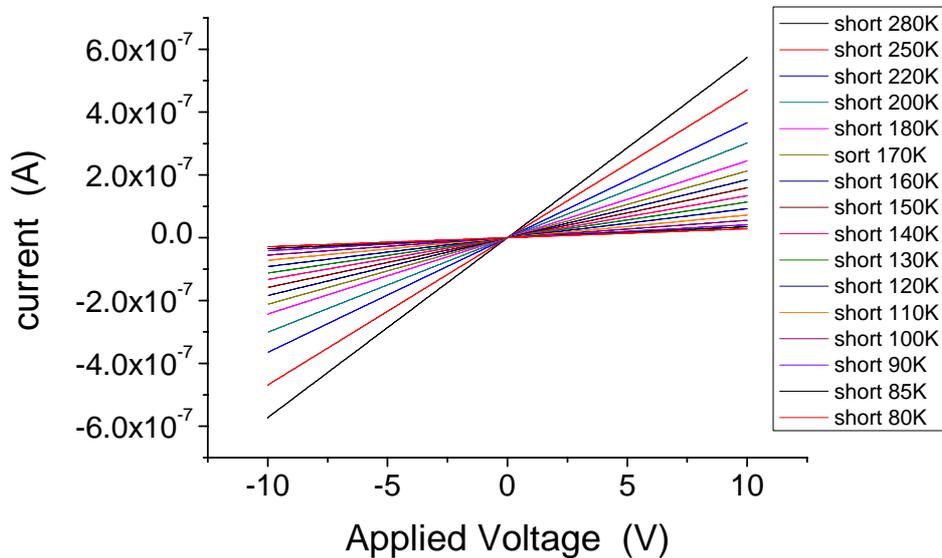


Figura 7 I-V a diverse temperature relative al campione short

La Fig.8 evidenzia che il meccanismo di attivazione termica nel contatto di Platino corrisponde a hopping a range variabile in una dimensione, tipico dei sistemi disordinati, ovvero la resistenza R varia secondo la legge $R \sim \exp(T_0/T)^{1/p}$ con $p=2$. L'analisi del parametro T_0 , fornisce una lunghezza di localizzazione pari 30nm. Tale risultato e' simile a quello riportato recentemente da Tsukatani et al.[1] per film di Platino realizzati mediante la stessa tecnica. Il valore della resistenza risulta essere notevolmente piu' elevato di quella del Platino metallico e gli stessi autori hanno osservato una riduzione di 3-4 ordini di grandezza in seguito a degli opportuni processi di annealing. Di questo risultato occorre tener conto per la possibilita' che vengano introdotti poi, nel contattare i NWs, indesiderati effetti di resistenza serie [2].

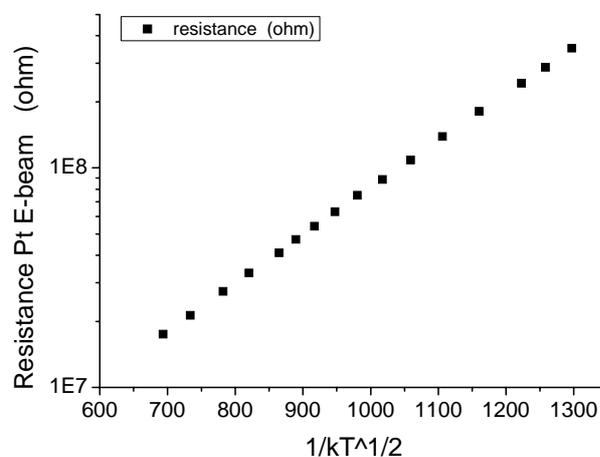


Figura 8 Attivazione termica della resistenza del campione di Pt (short)

Si e' quindi passati alla misura dei campioni shell-shell. Per tutte le temperature le correnti risultano assai inferiori rispetto a quelle del campione short, lasciando quindi ipotizzare che gli effetti di resistenza serie siano in questo caso trascurabili e tutta la tensione applicata cada principalmente ai capi del NWs. Dalla Fig.9, che riporta il plot log-log delle I-V (polarizzazione da 0.1V a 10V) si possono notare deboli effetti di 'isteresi' a basse tensioni e basse temperature. Le misure sono inoltre riproducibili e simmetriche rispetto al verso della tensione applicata. Per quanto riguarda l'andamento, si osserva un comportamento ohmico della corrente a basse tensioni che pero' diviene quadratico per alte tensioni e basse temperature.

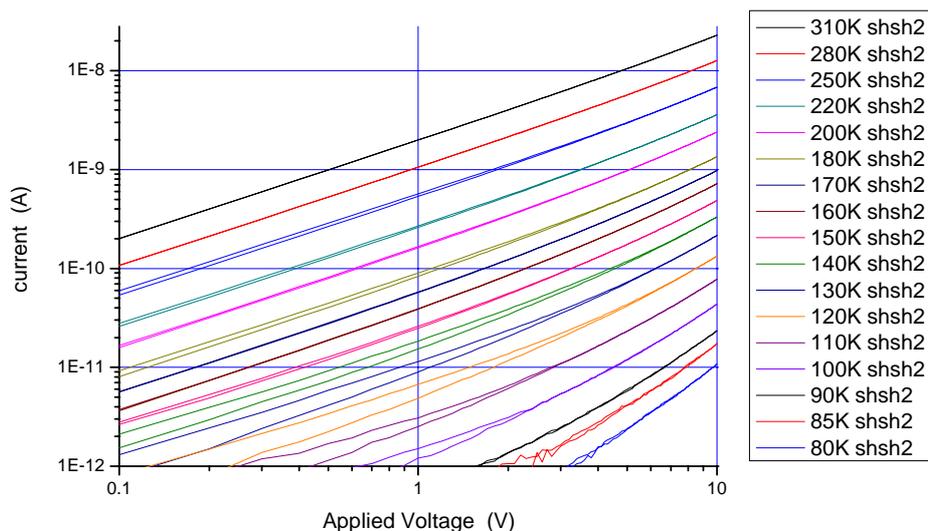


Figura 9 I-V a diverse temperature del campione shell-shell

I plots della corrente a tensione fissa rivelano, come si osserva in Fig.10, un andamento del tipo $\ln(I) \sim (T/T_0)^{1/4}$. Tale andamento viene attribuito in genere al variable range hopping in 3 dimensioni.

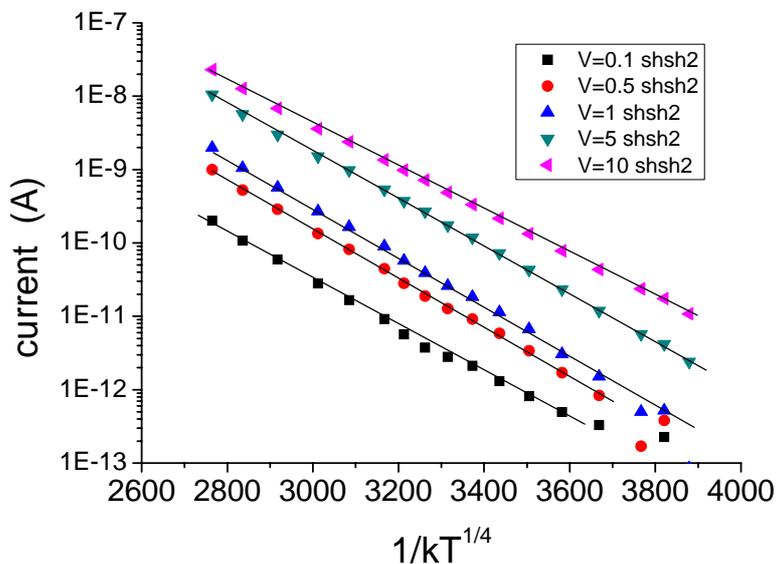


Figura 10 Attivazione termica del campione shell-shell: corrente a tensione fissa in funzione di $(kT)^{-1/4}$

Le misure effettuate sul campione core-core mostrano invece degli andamenti piu' complessi (Fig.11), ma l'attivazione termica risulta ancora ben descritta dalla relazione $\ln(I) \sim (T/T_0)^{1/4}$ (Fig.12). Ad alte tensioni, la corrente risulta solo leggermente inferiore a quella corrispondente del campione short. Questo unitamente al leggero incurvamento ad alte tensioni, lascia presupporre che in questo caso l'effetto di una resistenza serie non sia completamente trascurabile.

Questi risultati ci hanno indotto a ritenere che occorre migliorare la conduttivita' del film di Platino ottenuto per deposizione assistita da fasci elettronici.

Essendo disponibile presso il laboratorio americano un apparato per effettuare annealing termici rapidi, abbiamo effettuato tale esperimento riferendoci ai parametri sperimentali simili a quelli riportati nel lavoro di Tsukatani [1] e cioe' 10 min a 450°C in Argon. La principale differenza rispetto al lavoro di Tsukatani consiste nella rapidita' del processo nel senso che noi abbiamo adoperato un sistema 'rapido', ove cioe' la Temperatura di annealing viene raggiunta in pochi secondi mentre Wakaya utilizza un forno convenzionale con tempi sensibilmente piu' lunghi.

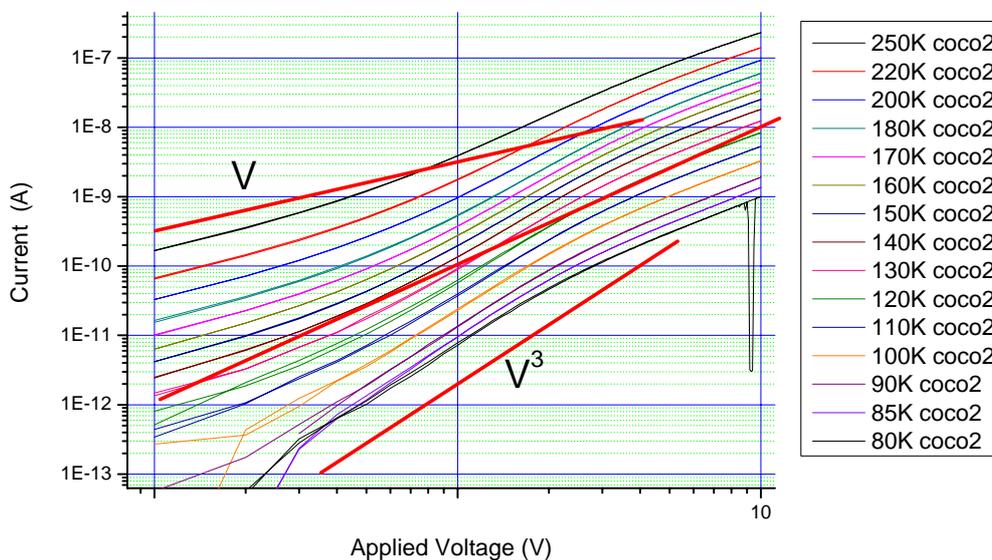


Figura 11 I-V a diverse temperature del campione core-core

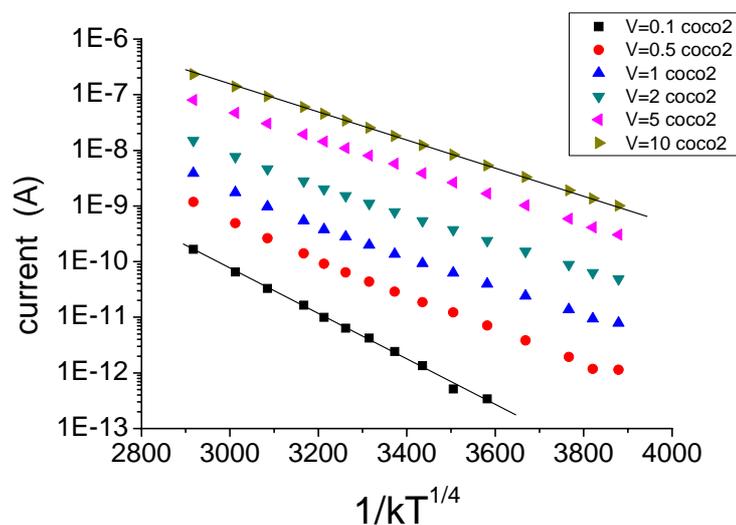


Figura 12 Attivazione termica del campione core-core: corrente a tensione fissa in funzione di $(kT)^{-1/4}$

A tale differenza e' probabilmente imputabile il fatto che l'annealing e' risultato abbastanza distruttivo nel nostro caso, verosimilmente a causa del fenomeno del dewetting. L'effetto che e' osservabile in Fig.13 in un'immagine SEM ottenuta nel laboratorio, mostra l'effetto distruttivo sul campione short.

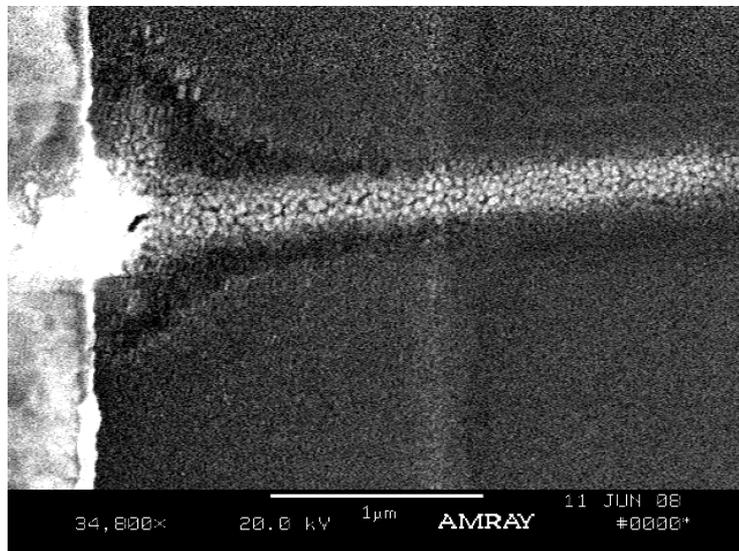


Figura 13 Immagine SEM del contatto di Pt in seguito al processo di annealing termico

L'unico campione che e' sopravvissuto al trattamento termico e' stato lo shell-shell ed e' quindi su di questo che sono state effettuate ulteriori misure.

Le misure, riportate in Fig. 14, evidenziano che il comportamento del campione e' cambiato leggermente in seguito all'annealing: si osservano delle pendenze maggiori nelle I-V. Il meccanismo di attivazione termica sembra pero' non essere cambiato in quanto le correnti continuano a seguire l'andamento $\ln(I) \sim (T/T_0)^{1/4}$ anche se con pendenze minori, come si osserva in Fig.15.

In conclusione, l'attivita' svolta ha permesso di validare parzialmente l'utilizzo della tecnica di e-beam deposition per la nanocontattatura dei Nanowires di AlGaAs/GaAs. Va rilevato che, a nostra conoscenza, non e' stata ancora riportata in letteratura. La tecnica consente di ottenere contatti stabili, che non danno luogo a fenomeni di isteresi e sono abbastanza riproducibili. Soprattutto ha fornito utili indicazioni sulle azioni da intraprendere: effettuare una sistematica nelle deposizioni dei film di Platino ed effettuare trattamenti termici (in forno, convenzionali) per migliorare ed ottimizzare le proprieta' elettriche e meccaniche di tali film. In seguito verra' anche valutato l'utilizzo di Tungsteno al posto del Platino, la cui sorgente sara' presto disponibile nel FIB.

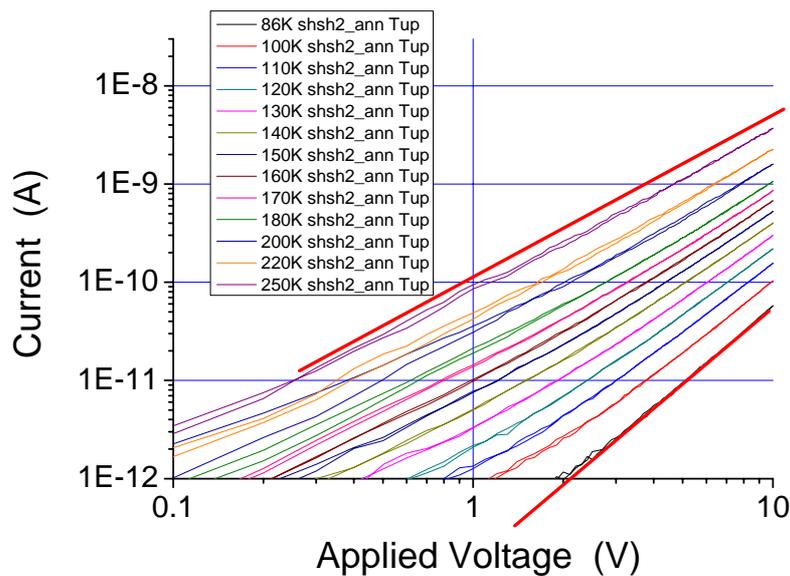


Figura 14 I-V a divers temperature del campione shell-shell DOPO il trattamento termico

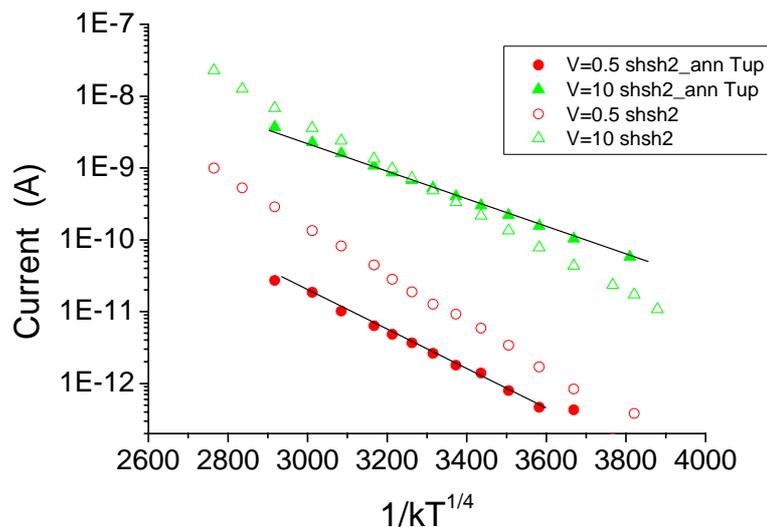


Figura 15 Confronto dei valori di corrente in funzione di corrente a tensione fissa in funzione di $(kT)^{-1/4}$ a 0.5V e 10V relativi al campione shell-shell prima e dopo il trattamento termico

Bibliografia

- [1] **Transport Properties of Pt Nanowires Fabricated by Beam-Induced Deposition**, Yosuke TSUKATANI, Naoki YAMASAKI, Katsuhisa MURAKAMI, Fujio WAKAYA and Mikio TAKAI, Japanese Journal of Applied Physics Vol. 44, No. 7B, , pp. 5683–5686 (2005)
- [2] **On the effect of the electrical contact resistance in nanodevices**
Timo Schwamb, Brian R. Burg, Niklas C. Schirmer, and Dimos Poulikakosa, APPLIED PHYSICS LETTERS **92**, pp. 243106 (2008)

**Visto del Proponente
Dott. A. Cola**