



Ministero dello Sviluppo Economico



CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO

PER

**FORNITURA DI ATTREZZATURE SCIENTIFICHE PER LO
SVILUPPO DELLA FACILITY FBK "3D INTEGRATION"**

LOTTO 2

**SISTEMA FIB-SEM (FOCUSED ION BEAM – SCANNING
ELECTRON MICROSCOPE)**

- PROTOCOLLO DI ACCETTAZIONE -

ART. 1 – GENERALITÀ

L'accettazione del sistema deve essere effettuata in contraddittorio dal personale tecnico dell'Aggiudicatario e dai tecnici incaricati da FBK secondo quanto previsto dal presente protocollo.

FBK in sede di aggiudicazione si riserva tuttavia la facoltà di concordare con l'Aggiudicatario, integrazioni e modifiche a detto protocollo. L'esito positivo dei risultati ottenuti nel factory test replicati nel test on-site e quelli eseguiti unicamente nel test on-site, secondo il presente protocollo eventualmente integrato ed emendato in sede di aggiudicazione costituiscono requisito essenziale per l'accettazione dell'apparecchiatura.

L'accettazione, che ha come scopo di verificare la perfetta corrispondenza di quanto fornito alle caratteristiche e funzionalità dichiarate nell'offerta tecnica, comprenderà tre gruppi di operazioni.

- a) **Verifiche qualitative e corrispondenza al capitolato:** queste verifiche riguarderanno sia la fornitura nel suo complesso sia le singole parti specificate nel capitolato tecnico. Potranno essere eseguite durante l'installazione, a insindacabile giudizio della stazione appaltante.
- b) **Verifiche quantitative dimensionali:** anche queste verifiche riguardano sia la fornitura nel suo complesso sia le singole parti che la compongono. Queste verifiche saranno eseguite al momento della consegna dei materiali o all'accettazione.
- c) **Collaudo funzionale**, consistente in:
 - a. **test di pre-accettazione (factory acceptance test)** da effettuare a cura dell'Aggiudicatario secondo il protocollo proposto dopo l'aggiudicazione, eventualmente integrato ed emendato da FBK d'intesa con l'Aggiudicatario. A fronte dell'esito positivo del test di accettazione on factory, basato anche sulle misure eseguite presso FBK, l'Aggiudicatario fornirà il Test Report alla Stazione Appaltante che rilascerà il nulla osta alla spedizione dell'apparecchiatura.
 - b. **test di accettazione (on-site)** da effettuare ad installazione ultimata presso il laboratorio di FBK, come dettagliato al successivo articolo 2.

A fronte dell'esito positivo del test di accettazione on-site la Stazione Appaltante rilascerà il certificato di verifica e conformità della fornitura che sarà necessario all'amministrazione FBK per il saldo finale della fornitura.

Qualora l'apparecchiatura non superi uno o più dei test previsti, questi verranno ripetuti senza ritardo dopo gli eventuali aggiustamenti mettendo a disposizione senza nessun addebito quanto aggiuntivo o sostitutivo che si renda necessario per mettere la strumentazione in condizioni di superare i test nelle stesse modalità e alle stesse condizioni.

L'Aggiudicatario ha l'onere di procurare la strumentazione necessaria all'accettazione on-site non disponibile presso la Fondazione FBK, e del proprio personale tecnico.

ART. 2 – SVOLGIMENTO DEL COLLAUDO ON-SITE

Il collaudo funzionale delle apparecchiature on-site prevede:

- Verifica della calibrazione della strumentazione di misura utilizzata dal protocollo di accettazione;
- Completa verifica della corrispondenza fra le funzionalità dichiarate dell'apparecchiatura e dei suoi controlli e i requisiti del capitolato speciale, parte tecnica e della relazione tecnica;

- a. Verifica della dimensione del fascio elettronico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging' ad alta energia: acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio elettronico a 15 keV di energia di impatto sul campione e adeguata intensità di corrente, su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle di oro con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare inferiore a 1 nm.
- b. Verifica della dimensione del fascio elettronico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging' a bassa energia: acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio elettronico a 1keV di energia di impatto sul campione e adeguata intensità di corrente, su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle di oro con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare uguale o inferiore a 2 nm.
- c. Verifica della dimensione del fascio ionico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging': acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio ionico nelle migliori condizioni di energia di impatto e corrente su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle di oro con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare uguale o inferiore a 20 nm.
- d. Verifica della dimensione del fascio ionico focalizzato valutata come risoluzione di erosione ('milling'): milling di 4 croci di un layer di argento di spessore 20 nm depositato su wafer di silicio (100) costituite da 2 segmenti ortogonali di 500 nm di lunghezza poste ai vertici di un quadrato di lato 100 μm eseguito nelle migliori condizioni; acquisizione di 4 immagini SEM nelle migliori condizioni sulle 4 croci scavate; la larghezza dello scavo sarà valutata osservando il profilo di intensità elettronica degli elettroni secondari ai lati dello scavo stesso; il bordo sarà considerato corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione laterale dello scavo deve risultare uguale o inferiore a 40 nm.
- e. Verifica della velocità di erosione ('milling') del fascio ionico: scavo di trench rettangolare in silicio (wafer 100) di dimensione di 100 μm x 30 μm per una profondità minima di 70 μm , centrato rispetto a marker pre-definiti sulla superficie con accuratezza inferiore 20 μm per mezzo di fascio ionico o di fascio laser impulsato in un tempo minore di 300 secondi nelle migliori condizioni strumentali; il campione di silicio sarà fornito con 4 croci centrate ai vertici di un rettangolo di dimensione di 100 μm x 30 μm e 4 croci centrate ai vertici di un rettangolo concentrico di dimensione di 120 μm x 50 μm ; acquisizione di un'immagine SEM rivelando elettroni secondari nelle migliori condizioni; la dimensione e posizione dello scavo sarà valutata considerando come bordo il punto centrale tra superficie vergine e fondo dello scavo; la profondità dello scavo sarà valutata acquisendo un'immagine ad inclinazione

opportuna eseguendo la media tra 4 misure effettuate sui 4 lati del rettangolo; la profondità dello scavo deve risultare maggiore o uguale a 70 μm ;

- f. Verifica della stabilità della sorgente elettronica: la sorgente sarà tenuta accesa nelle migliori condizioni dello strumento in termini di energia ed intensità di corrente per un intervallo di 12 ore e ad intervalli regolari di un'ora l'intensità del fascio elettronico sarà misurata con gli strumenti presenti nello strumento stesso. La deviazione standard dei valori di intensità dovrà essere inferiore al 4% del valore medio dell'intensità stessa misurato sullo stesso intervallo temporale.
- g. Verifica della dimensione del fascio ionico focalizzato valutata come risoluzione di 'imaging': acquisizione di un'immagine di elettroni secondari prodotta da un fascio ionico ottimale in termini di specie ionica e intensità di corrente ionica, accelerato con tensione pari a 30 kV su un campione di riferimento su cui siano presenti nano-particelle con bordi ben definiti e con composizione atta a rendere un buon contrasto con il substrato. La dimensione del fascio sarà valutata misurando sull'immagine acquisita, in corrispondenza dei bordi di una nano-particella, la distanza (sia in direzione x che in direzione y) corrispondente ad una variazione del segnale di elettroni secondari dal 20 all'80% dell'escursione totale. La dimensione del fascio deve risultare uguale o inferiore a 20 nm.
- h. Verifica della stabilità della sorgente ionica: la sorgente sarà tenuta accesa nelle migliori condizioni dello strumento in termini di energia ed intensità di corrente per un intervallo di 12 ore e ad intervalli regolari di un'ora l'intensità del fascio ionico sarà misurata con gli strumenti presenti nello strumento stesso. La deviazione standard dei valori di intensità dovrà essere inferiore al 5% del valore medio dell'intensità stessa misurato sullo stesso intervallo temporale.
- i. Verifica della velocità di preparazione di cross section profonde in silicio con qualità superficiale adatta a caratterizzazione SEM / EBSD): realizzazione di sezione su singola VIA (TSV, through silicon vias) mediante milling/erosione da fascio ionico, con o senza l'ausilio di pre-scavo con laser a femtosecondi. La VIA, riempita di poly-silicio, ha profondità di 150 μm e larghezza di 5 μm . Si misura il tempo di realizzazione della cross section, comprensivo di milling e polishing valutando la completa rimozione a tutte le profondità della TSV degli artefatti morfologici indotti dallo scavo. Il tempo di realizzazione e acquisizione di immagini SEM per la valutazione della caratterizzazione dovrà essere inferiore alle 4 ore.
- j. Verifica della qualità di fabbricazione di una lamella per STEM-TEM: preparativa di una lamella di silicio. L'area assottigliata allo spessore di circa 200 nm deve avere un'area utile per analisi STEM di almeno 5 μm x5 μm priva di artefatti morfologici superficiali (curtaining); il test dovrà essere eseguito su una giunzione Josephson (deposizione di film sottile di alluminio su silicio) fornita da FBK con 2 layer di alluminio divisi da uno strato sottile di ossido di alluminio; si acquisiranno immagini SEM nelle migliori condizioni in cui si dovrà mettere in luce l'interfaccia tra i due strati sottili di alluminio e il sottile layer di ossido di alluminio.