

Caracterizarea straturilor subțiri obținute în procesele tehnologice din micro și nano electronică

Obiective

Se va realiza testarea cu ajutorul nanoindenterului a straturilor care apar în secțiune pentru o placă PCB (Printed Circuit Board). Se vor determina modulul elasticității și duritatea straturilor.

Principii

Nanoindentările permit caracterizarea straturilor foarte subțiri, folosite în electronică. Disponând de un vârf cu dimensiuni nanometrice, un control al adâncimii de realizare a nanoindentărilor la scară nanometrică, al forței de apăsare la scară de miliNewtoni și localizarea punctelor de caracterizat la scară de micrometri, nanoindenterul oferă informații utile privind straturile realizate în timpul proceselor tehnologice din nano și micro electronică.

Realizarea lucrării

Pregătirea probelor

Pentru a caracteriza probe cu ajutorul nanoindenterului, trebuie îndeplinite următoarele condiții:

Probele să aibă o geometrie care să permită să fie fixate foarte bine pe suportul nanoindenterului, cu suprafața ce se dorește a fi caracterizată orientată înspre sus.

Suprafața care este caracterizată trebuie să fie una șlefuită și lustruită, pentru o limitare a erorilor sub 0.2%.

În funcție de geometria suprafeței ce trebuie caracterizată (o suprafață plană sau una ce reprezintă de exemplu secțiunea unei plăci PCB – Printed Component

Board), se alege metoda de fixare. Pentru suprafețe plane, metoda recomandată de producătorul nanoindenterului este fixarea cu ajutorul unei rășini. Pentru aceasta, se așează suportul pe care se va fixa proba pe plita EH20B Lab Tech, se setează să se încălzească la 97 grade Celsius și se așteaptă încă minim 5 minute după stabilizarea temperaturii la această valoare, pentru ca și temperatura suportului să fie stabilă. Prin atingerea suportului cu rășina sub formă de baghetă, suportul fiind încălzit, se va obține pe suprafața acestuia o zonă cu rășină topită. Se va lua proba cu grijă, fără a se atinge toată suprafața superioară și se va apăsa (tot așa, pe cât posibil prin apăsări simultane în colțurile probei) pe suport. În acest moment rășina topită de pe suport trebuie să iasă pe lateral pe sub probă. Când se simte că nu mai iese rășină de sub probă, se oprește apăsarea și se ia suportul de pe plită. Rășina de jur împrejurul probei se va solidifica și va asigura o fixare perfectă a probei. Plita va trebui resetată la valoarea temperaturii camerei înainte de deconectare. Atunci când suportul și proba ajung la temperatura camerei, se fixează în ultimul suport, cel din incinta nanoindenterului. Dacă proba de studiat este o secțiune transversală, există două posibilități: fie încapsularea în epoxy și apoi urmărirea aceluiași proceduri ca și în cazul unei probe plane, fie prinderea din lateral cu ajutorul unui surub într-un suport prevăzut cu o fantă de forma secțiunii.

Pregătirea și setarea nanoindenterului pentru măsurători

Nanoindenterul se pornește folosind următoarele succesiuni: comutarea sursei în poziția ON, comutarea întrerupătorului controlerului în poziția 1 și deschiderea calculatorului nanoindenterului. Se așteaptă ca sistemul de operare să fie pornit și se intră în programul „Nano Suite”. La deschiderea acestuia va apărea o fereastră în care trebuie selectată metoda folosită de către nanoindenter în timpul testelor. Metodele disponibile folosesc fie o limitare a nanoindentărilor în funcție de adâncimea la care va pătrunde vârful, fie o limitare a forței de apăsare a vârfului pe probă, fie testarea cu ajutorul unei zgârieturi cu o anumită forță sau adâncime, urmată de determinarea transversală a profilului zgârieturii. Pentru lucrarea de față se va alege metoda „G-Series Basic Hardness, Modulus, at a Depth”. Această metodă permite limitarea adâncimii până la care să intre vârful în timpul unei nanoindentări. În fereastra „Test” se va da click dreapta cu mouse-ul și se va selecta „Initialize” (v. Fig. 1).

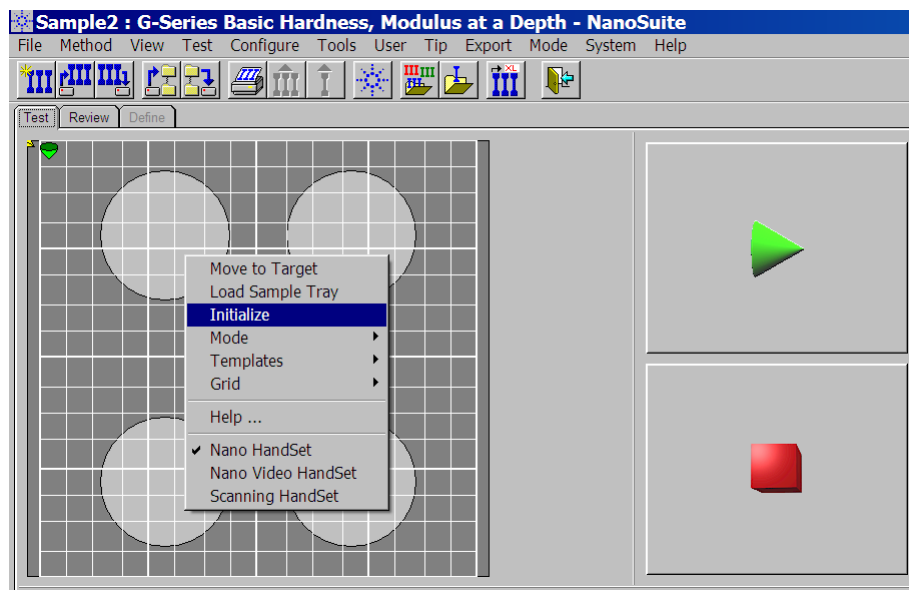


Figura 1 Inițializarea sistemului

La finalizarea inițializării se va da OK. Prin click stânga pe suportul ocupat de referință (cel din mijloc) urmat de click dreapta și „Move to Target”, obiectivul nanoindenterului se va deplasa deasupra referinței. Când motorul piezoelectric se oprește, se dă click dreapta și se selectează „Nano Video HandSet”. În mod normal obiectivul este focalizat corect pe suprafața referinței, dar dacă acest lucru nu este așa, se va regla din butoanele „Microscope Focus Up” și „Microscope Focus Down” aflate sub fereastra „Test” (v. Fig. 2).

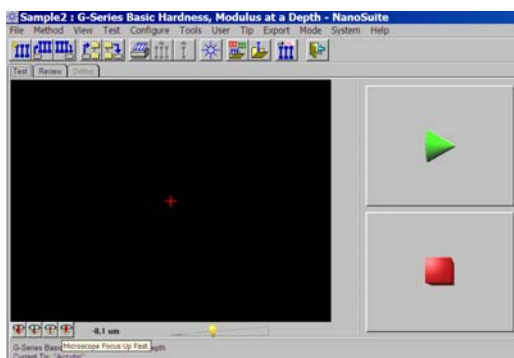


Figura 2 Focalizarea pe referință

Când focalizarea este corectă se revine folosind click dreapta și „Nano HandSet” la fereastra inițială. Se deplasează microscopul deasupra probei de analizat și de această dată focalizarea se va face folosind roțița de sub suport, acționată cu

mâna. La finalul focalizării, cu siguranță suprafața referinței și cea a probei se vor afla la același nivel. Se va strânge șurubul aflat în lateralul suportului probei, urmărindu-se ca această strângere să nu afecteze focalizarea. Se vor efectua toți acești pași și pentru cea de a doua probă.

Realizarea măsurătorilor

Se va selecta fereastra „Batch Mode” pentru a introduce parametrii măsurătorilor: numărul nanoindentărilor, adâncimea limită, constanta lui Poisson (v. Fig. 3).

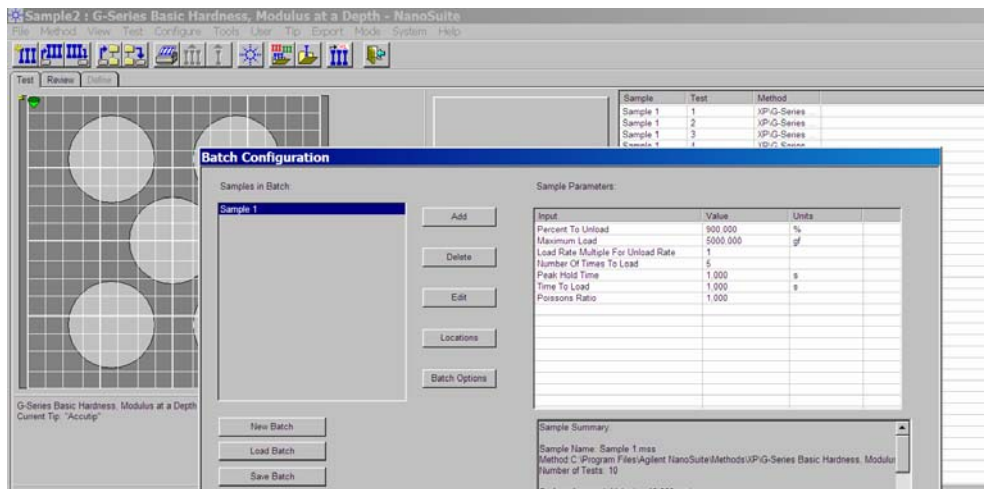


Figura 3 Setarea parametrilor de lucru

Pentru această lucrare, se vor realiza pe fiecare probă 9 indentări, într-o distribuție de tip matrice 3 x 3 cu 50 micrometrii distanță între nanoindentări. Pentru a fixa locul primei nanoindentări se va apăsa butonul „Locations” (v. Fig. 4). De asemenea, se va programa ca înainte și după nanoindentările pe probe să se facă câte un set de 2 x 2 indentări pe referință, pentru a avea confirmarea că nanoindenterul a funcționat la parametrii optimi. Limita adâncimii se va stabili la 750 nm iar constanta lui Poisson 0.180.

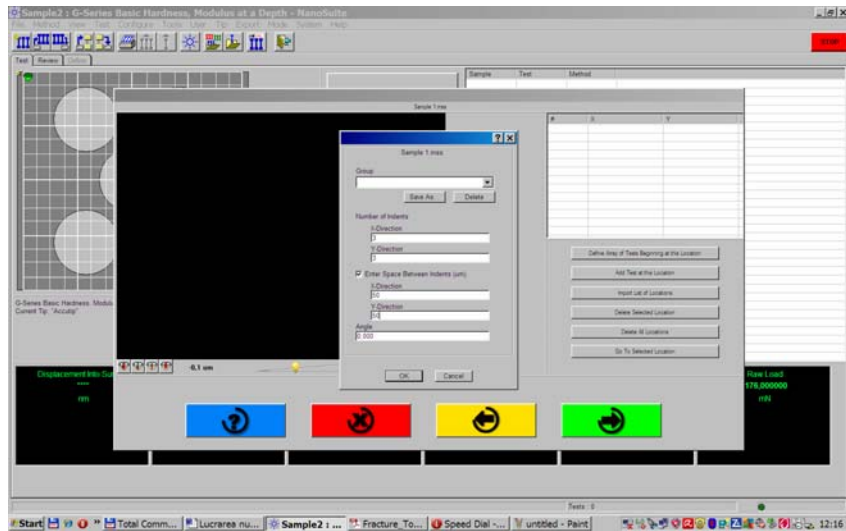


Figura 4 Setarea locațiilor

Se lansează măsurătorile apăsând butonul „Run Batch”. La finalul tuturor nanoindentărilor, în fereastra „Review” se vor putea vizualiza datele rezultate. Pentru salvarea datelor se va apăsa butonul „Export to Excell”.

Interpretarea datelor experimentale.

Se vor realiza grafice ce vor include măsurătorile de pe ambele probe, grafice ce vor reprezenta „Modulus vs Displacement into Surface”, Modulus vs Load on Sample”. Se va determina duritatea fiecărei probe. Se va determina la care dintre probe a fost nevoie de o forță mai mare pentru a se atinge limita de adâncime stabilită. Se va determina eroarea medie a măsurătorilor.

Lucrarea numărul 2

Determinarea influenței procesului de reflow asupra straturilor subțiri în micro și nano electronică cu ajutorul nanoindenterului

Obiective:

Se va utiliza nanoindenterul pentru a realiza un studiu comparativ pentru două probe luate din două PCB (Printed Circuit Board) dintre care una a fost supusă unui proces de „reflow”. Comparația va fi efectuată folosind aceleași două valori pentru forța de apăsare asupra straturilor, observându-se dacă apar diferențe semnificative și dacă diferențele între plăci sunt mai semnificative la o anumită valoare a forței.

Principii:

Lucrarea se bazează pe capacitatea de a compara la nivel de straturi nanometrice a proprietăților dispozitivelor electronice de pe o placă PCB supusă la reflow respectiv de pe una care nu a fost expusă. Probele caracterizate vor proveni din secțiunea transversală obținută în urma decupării celor două plăci.

Realizarea lucrării:

Pregătirea probelor

Pregătirea probelor se va face identic cu cea de la Lucrarea numărul 1, ținând cont de toate indicațiile.

Pregătirea și setarea nanoindenterului pentru măsurători

Pornirea și inițializarea nanoindenterului se va face la fel ca și la Lucrarea numărul 1 (v. Fig. 1 plus descrierea din cadrul lucrării numărul 1).

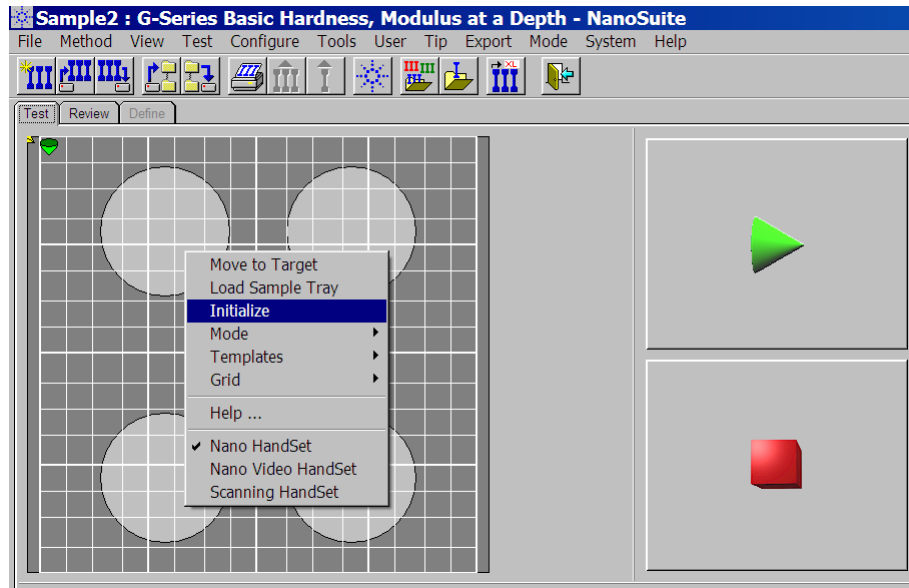


Figura 1 Inițializarea sistemului

În continuare se va alege metoda necesară obiectivelor acestei lucrări, și anume „G-Series Basic Hardness, Modulus, Tip Cal, Load Control” (v. Fig. 2)

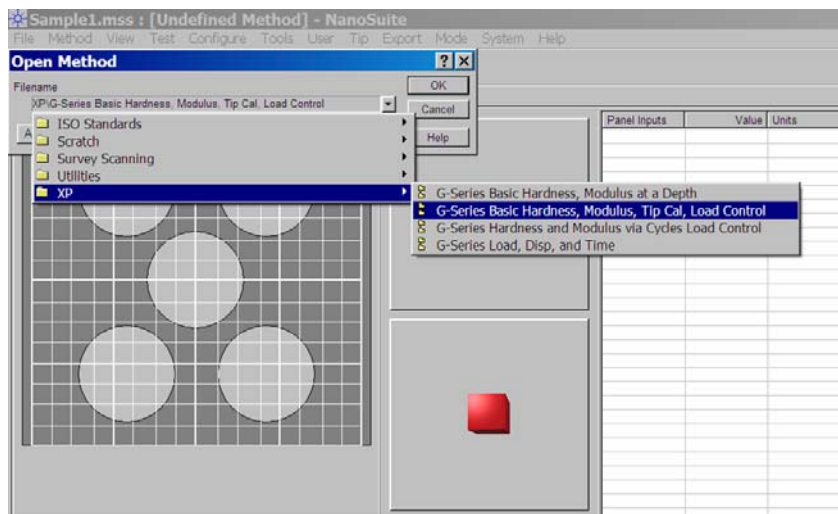


Figura 2 Stabilirea metodei

Această metodă permite controlul forței cu care se vor realiza nanoindentările. Alegerea valorilor pentru aceste forțe se va face ținând cont de graficele obținute la lucrarea numărul 1, în așa fel încât prin pătrunderea vârfului nanoindenterului, nanoindentările să se facă pe un singur strat.

Focalizarea pe suprafața probelor se va face respectându-se pașii descriși în lucrarea numărul 1. Atenție!: Chiar dacă probele au rămas în nanoindenter, ele se coboară cu ajutorul rotiței de sub suport, acționată manual, și apoi se realizează focalizarea. Aceasta pentru a se evita ca proba să fie la un nivel superior referinței, deoarece vârful nanoindenterului va survola probele considerând că acestea nu depășesc nivelul referinței iar în caz contrar pagubele la nivel de vârf sunt foarte importante.

La finalul focalizării se va strânge șurubul aflat în lateralul suportului probei, urmărindu-se ca această strângere să nu afecteze focalizarea. Se vor efectua toți acești pași și pentru cea de a doua probă.

Realizarea măsurătorilor

Se va selecta fereastra „Batch Mode” pentru a introduce parametrii măsurătorilor: numărul nanoindentărilor, forța limită, constanta lui Poisson (0.180) (v. Fig. 3).

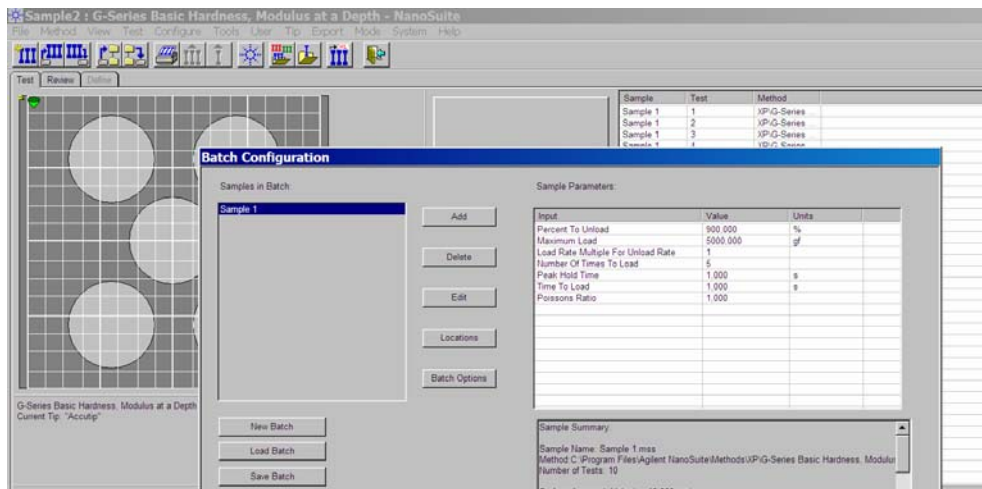


Figura 3 Setarea parametrilor de lucru

Pentru această lucrare, se vor realiza pe fiecare probă și fiecare valoare a forței 4 indentări, într-o distribuție de tip matrice 2 x 2 cu 50 micrometrii distanță între nanoindentări. Pentru a fixa locul primei nanoindentări se va apăsa butonul „Locations” (v. Fig. 4). De asemenea, se va programa ca înainte și după nanoindentările pe probe să se facă câte un set de 2 x 2 indentări pe referință, pentru a avea confirmarea că nanoindenterul a funcționat la parametrii optimi.

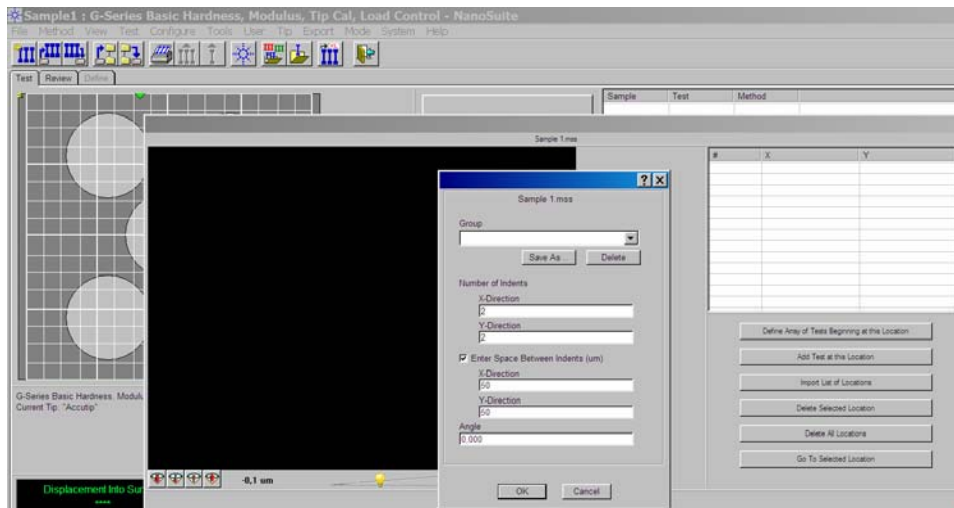


Figura 4 Setarea locațiilor

Alegerea valorii forței se va face consultând graficele obținute la lucrarea numărul 1, în așa fel încât adâncimea estimată a nanoindentărilor să fie la 750 respectiv 300 nm. Se lansează măsurătorile apăsând butonul „Run Batch”. La finalul tuturor nanoindentărilor, în fereastra „Review” se vor putea vizualiza datele rezultate. Pentru salvarea datelor se va apăsa butonul „Export to Excell”.

Interpretarea datelor experimentale.

Se vor realiza grafice ce vor include măsurătorile de pe ambele probe, grafice ce vor reprezenta „Modulus vs Displacement into Surface”, Modulus vs Load on Sample”. Se va determina la care dintre probe adâncimea de pătrundere a fost mai mică pentru aceeași valoare a forței. Este necesar ca această comparație să se facă pentru ambele valori ale forței, pentru a se observa dacă în procesului de reflow nu s-au modificat proprietățile straturilor în funcție de adâncime.

Lucrarea numărul 6

Studiul răspunsului dispozitivelor nano și micro electronice la teste de tip semi-distructive cu ajutorul nanoindenterului și a microscopiei atomice

Obiective:

Se va utiliza nanoindenterul pentru a studia efectul asupra dispozitivelor nano și micro-electronice a testelor semi-distructive de tip „Scratch”. Se va determina limita de rezistență a unui dispozitiv la acțiunea unui test de tip „Scratch”

Principii:

Lucrarea se bazează pe capacitatea nanoindenterului de a efectua teste de tip „Scratch” care constau în apăsarea cu un gradient de forță pe o anumită lungime și determinarea apoi, prin trecerea vârfului transversal peste prima linie, a daunelor produse dispozitivelor. Pentru o cât mai completă caracterizare, zona supusă testului poate fi studiată și cu ajutorul AFM-ului (Atomic Force Microscope).

Realizarea lucrării:

Pregătirea probelor

Pregătirea probelor se va face identic cu cea de la Lucrarea numărul 1, ținând cont de toate indicațiile.

Pregătirea și setarea nanoindenterului pentru măsurători

Pornirea și inițializarea nanoindenterului se va face la fel ca și la Lucrarea numărul 1 (v. Fig. 1 plus descrierea din cadrul lucrării numărul 1).

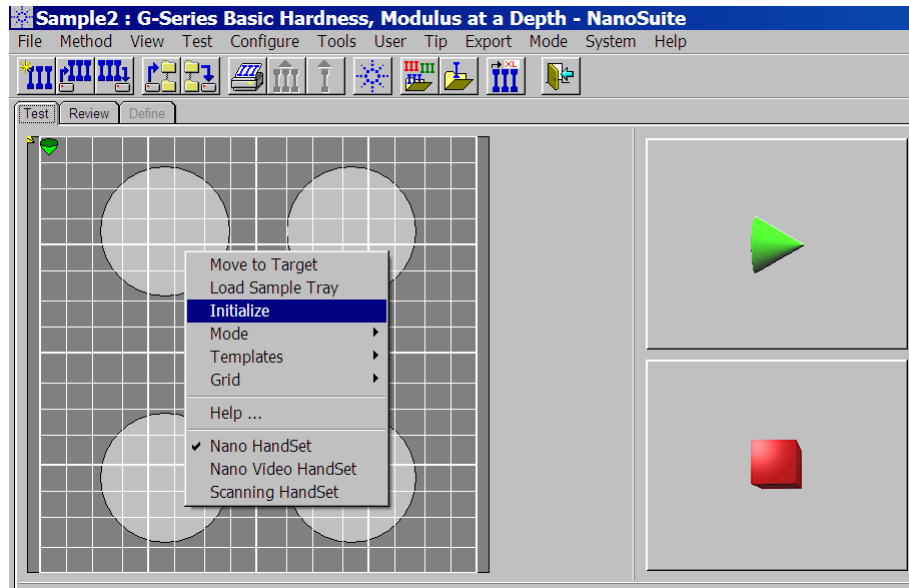


Figura 1 Inițializarea sistemului

În continuare se va alege metoda necesară obiectivelor acestei lucrări, și anume „G-SeriesRamp Load Scratch” (v. Fig. 2)

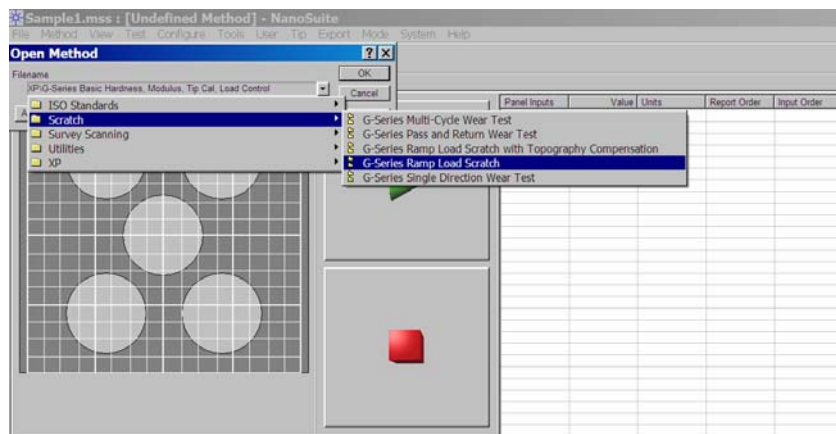


Figura 2 Stabilirea metodei

Această metodă permite realizarea unei zgârieturi cu o forță controlată, tot mai mare pe o anumită suprafață. Alegerea valorilor pentru forța maximă se va face ținând cont de graficele obținute la lucrarea numărul 1 și respectiv numărul 2, în așa fel încât prin pătrunderea vârfului nanoindenterului să se estimeze că nu va depăși limita de 2000 nm.

Focalizarea pe suprafața probelor se va face respectându-se pașii descriși în lucrarea numărul 1. Atenție!: La fel ca și la lucrarea numărul 2, chiar dacă probele au rămas în nanoindenter, ele se coboară cu ajutorul roțiței de sub suport, acționată manual, și apoi se realizează focalizarea. Aceasta pentru a se evita ca proba să fie la un nivel superior referinței, deoarece vârful nanoindenterului va survola probele considerând că acestea nu depășesc nivelul referinței iar în caz contrar pagubele la nivel de vârf sunt foarte importante.

La finalul focalizării se va strânge șurubul aflat în lateralul suportului probei, urmărindu-se ca această strângere să nu afecteze focalizarea. Se vor efectua toți acești pași și pentru cea de a doua probă.

Realizarea măsurătorilor

Pentru această lucrare, se va realiza pe fiecare probă o singură zgârietură. Localizarea zonei de realizare a testului se va face manual, din fereastra „Test” și modul Video Nano HandSet. Cu cât viteza de realizare a testului va fi mai mică, cu atât acuratețea rezultatelor va fi mai mare. O viteză de 50nm/s va oferi rezultate cu acuratețe medie spre bună. Comanda „Run Test” va lansa testul iar la finalul testului în dreapta ferestrei Test va apărea fereastra 3D unde se vor putea observa profilele rezultate în urma testului (zgârietură plus tăvăsări transversale ale vârfului).

Folosind metodele descrise în lucrarea 3, se vor putea studia efectele testului și cu ajutorul microscopiei atomice.

Interpretarea datelor experimentale.

Având rezultatele sub formă de tabel oferite de nanoindenter, unde se pot citi valorile adâncimilor la care a penetrat vârful în timpul testului respectiv graficele 3D oferite de nanoindenter și AFM, se poate determina dacă dispozitivele au rămas complet sau parțial afectate și după retragerea vârfului, și la ce valori ale forței au loc aceste fenomene.

Lucrarea numărul 7

Determinarea rezistivității straturilor subțiri (dimensiuni nano și micro metrice)

Obiective:

Determinarea rezistivității materialelor depuse sub formă de straturi subțiri în timpul proceselor nanotehnologice de realizare a dispozitivelor electronice. Verificarea influenței temperaturii asupra valorii rezistivității materialelor depuse sub formă de straturi subțiri.

Principii și metode:

Metoda van der Pauw sau metoda celor patru puncte se folosește atunci când materialul a cărui rezistivitate dorim să o determinăm nu se găsește sub formă de fir (bară, cilindru) și deci nu se pot aplica legile „clasice” care folosesc formula

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{R \pi d^2}{4l}$$

unde R este rezistența electrică a probei, l , S și d sunt lungimea, respectiv secțiunea și diametrul probei.

Van der Pauw a demonstrat că există o corespondență între două valori determinabile, R_A și R_B exprimate în ohmi care nu pot fi numite rezistențe ale materialului, dar care ajută la determinarea rezistenței și implicit a rezistivității unui strat subțire. Van der Pauw a oferit o ecuație în care, după determinarea experimentală a valorilor R_A și R_B singura necunoscută rămâne R_S . După determinarea numerică a lui R_S se obține și valoarea rezistivității dacă se cunoaște grosimea stratului.

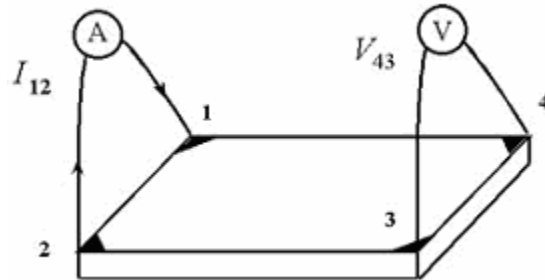
Realizarea lucrării

Pregătirea probelor în vederea realizării măsurătorilor prin tehnica van der Pauw:

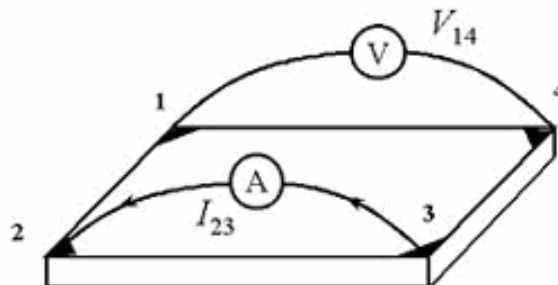
Probele trebuie decupate sub formă de pătrat. O valoare a lungimii laturii pătratului de 1 cm este foarte bună, dar se pot folosi și valori mai mari, în funcție de dificultatea debitării.

Montajele experimentale folosite în tehnica van der Pauw sunt cele din figuri:

- în primul montaj se aplică un curent continuu care intră în contactul numărul 1 și iese prin contactul numărul 2 iar cu ajutorul unui voltmetru se citește diferența de potențial între contactele 4 și 3. Se vor nota valorile citite prin I_{12} și V_{43} .



- în cel de al doilea montaj se aplică un curent continuu care intră în contactul numărul 2 și iese prin contactul numărul 3 iar cu ajutorul unui voltmetru se citește diferența de potențial între contactele 1 și 4. Se vor nota valorile citite prin I_{23} și V_{14} .



Se calculeaza $R_A = \frac{V_{43}}{I_{12}}$ și $R_B = \frac{V_{14}}{I_{23}}$ și se înlocuiesc R_A și R_B în ecuația lui van der Pauw, $e^{-\pi R_A / R_S} + e^{-\pi R_B / R_S} = 1$. Valoarea determinată pentru R_S se înlocuiește în $\rho = R_S \cdot d$, unde d este grosimea stratului, pentru a avea valoarea rezistivității stratului.

Aceleași măsurători se vor efectua pentru același material dar grosimi diferite.

Pentru a verifica influența temperaturii asupra valorii rezistivității materialelor depuse sub formă de straturi subțiri, probele se vor depune pe o plită, se va aștepta cel puțin încă 10 minute după ce temperatura plitei se stabilizează la valoarea setată și se repetă toată lucrarea descrisă mai sus.