

A3.1.2. Identificare infrastructuri experimentale

Evaluare preliminară analiza infrastructuri experimentale în domeniul nanotehnologiilor

Introducere

Domeniul nanotehnologiilor este deja privit ca o nouă revoluție științifică. Este vorba despre un nou val tehnologic, care are la bază combinația dintre controlul inovativ al proprietăților materiei la scară micro/nano, și potențialul deja consacrat oferit de valul tehnologic anterior, anume acela al tehnologiilor informației.

Iminența și importanța acestui proces de evoluție tehnologică se reflectă în creșterea internațională accelerată a investițiilor în cercetare-dezvoltare în domeniul nanotehnologiilor: cercetări recente de piață relevă o creștere de 15% în 2008, aceste investiții ajungând la peste 18 miliarde USD la nivel global. De subliniat și creșterea de 16% (ajungând la 8,4 miliarde USD) înregistrată în investițiile publice (guvernamentale) în activitățile CD pentru nanotehnologii la nivel global. În evaluarea impactului se apreciază ca parametrii decisivi în evaluarea nivelului de impact tehnologic și de competitivitate economică asociate sunt: numărul de inițiative naționale în nanotehnologii, numărul de centre de cercetare naționale și academice în această arie, numărul de publicații și brevete și cheltuielile guvernamentale dedicate.

Asigurarea competitivității economice naționale în noul context tehnologic impune păstrarea și accelerarea asimilărilor în acest domeniu prin investiții proactive în direcțiile de cercetare cu potențial aplicativ ridicat, care vizează produse cu înaltă valoare adăugată, transferabile unei industrii autohtone de profil aflată în proces de formare. Unul dintre castigurile esențiale imediate este și crearea unei forțe de atracție decisive atât pentru cercetătorii tineri cât și pentru emigratia intelectuală românească.

Situația internațională - priorități și politici investiționale

Se poate spune că evenimentul care a inițiat percepția importanței nanotehnologiei ca o nouă tehnologie de scară largă a fost lansarea Inițiativei Naționale pentru Nanotehnologie (NNI) în SUA, în anul 2000 (actualizată în Decembrie 2007, în curs de re-actualizare și în prezent). Implementarea acestei inițiative a condus la crearea unei *rețele extinse de CDI*, cu aproximativ 70 de centre și facilități, echipate ultra-avansat. Strategia *actualizată* acordă o atenție specială întăririi relațiilor cu industria, subliniind că toată cercetarea cu tangente în acest domeniu trebuie să adreseze nevoile industriale, ale pietelor.

De asemenea, pe plan *european* au fost create o serie de centre noi pentru CD în nanotehnologie, de la facilități mari cu sute de angajați și bugete de milioane de euro, până la facilități mici pentru entități academice. Un promotor și liant important: *programele de finanțare europene*, care au contribuit la dezvoltarea și întărirea legăturilor (*networking*) științifice și tehnologice, și la creșterea continuă a volumului de cunoștințe și tehnologii - acestea au condus la diminuarea diferențelor pe plan științific dintre țările europene pe de-o parte, și dintre Europa și SUA/Japonia pe de altă parte. Un raport relativ recent[5] identifică un total de 303 de astfel de centre distribuite în peste 30 de țări. Dintre acestea, 18 centre pot fi clasificate ca infrastructuri de cercetare *majore* la nivel european, caracterizate prin:

- facilități extinse - camere albe, gama extinsă de echipamente și instrumentație;
- personal dedicat, specializat pentru: operarea echipamentelor, CD, transfer tehnologic, instruire;
- bugete anuale de ordinul a mai multe milioane de euro.

In ultimii 2 ani se observa pe plan global o tendinta de accelerare a investitiilor. Finantarile guvernamentale a fost depasite recent de investitiile din partea marilor corporatii, dar continua sa creasca intr-un ritm accelerat. SUA se distinge ca lider in acest val investitional, cu investitii guvernamentale de 1.9 mld. USD in 2008, intrecand numai cu putin zona asiatica (cu 1.8 mld. USD). Pe plan european: prin finantarile controlate la nivelul Comisiei Europene si cele ale guvernelor nationale, tarile europene au investit - la nivelul anului 2007 - 2.2 mld. USD in cercetare in nanotehnologii.

In timp ce SUA, Japonia si UE domina aceasta zona investitionala, China si Rusia au initiat deja de cativa ani cresteri abrupte ale investitiilor pentru dezvoltarea nanotehnologiilor. Astfel, Rusia a anuntat o investitie de 5 mld. USD, iar China lanseaza un program de investitii in tehnologiile inalte extrem de ambitios pentru urmatorii 5 ani.

Situatia internationala - infrastructuri pentru nanotehnologii: tipologii si tendinte principale

Din punct de vedere al politicilor de investitii si organizare, se disting trei tipuri principale de infrastructuri pentru nanotehnologie:

- infrastructuri de tip *clustering (networking)* - insumarea (prin aducerea in acelasi cadru organizatoric a resurselor tehnologice si a expertizei din diverse centre. Exemple tipice: Reteaua Nationala a Infrastructurilor pentru Nanotehnologii - National Nanotechnology Infrastructure Network - NNIN (SUA) [6,7]; Infrastructura Europeana pentru micro- si nanofabricatie si caracterizare - the European Infrastructure for micro and nano fabrication and characterisation - EUMINAFab[17]
- infrastructuri mari, multivalente, finantate guvernamentale;
- infrastructuri mici, specializate, cu directii de cercetare focalizate.

Tendintele principale recente in dezvoltarea infrastructurilor avansate pentru nanotehnologii sunt:

- accent special pe *atragerea de specialisti* cu mare experienta
- promovarea *interdisciplinaritatii* "instrument-driven", conducand la integrare/convergenta stiintifica. Facilitatile sunt organizate in jurul unor grupuri (clustere) de instrumentatie utilizata in colaborare - "vecinatati tehnologice", sau "platforme"[4]. Functionalitatea spatiilor este optimizata in functie de specificul instrumentelor si a personalului/expertizei.
- se pune un accent important pe educatia si instruirea studentilor si tinerilor cercetatori, in vederea obtinerii masei necesare de resurse umane
- adresarea complexitatii din ce in ce mai mari prin optimizarea activitatilor administrative si operationale (impartirea spatiilor, alocarea resurselor, alocarea responsabilitatilor, management profesional si dedicat)

Situatia internationala - convergenta/integrare interdisciplinara

In dezvoltarea/organizarea infrastructurilor moderne pentru CD in nanotehnologie este unanim acceptat ca prioritatea esentiala este *promovarea interdisciplinaritatii*. Aceasta implica atat abordarea in comun a ideilor, cat si utilizarea comuna a resurselor. Pe scurt, *beneficiile interdisciplinaritatii* in contextul infrastructurilor de cercetare pentru nanotehnologie sunt:

- reducerea costurilor de constructie si operare a infrastructurilor de cercetare
- facilitarea recrutarii si mentinerii personalului de calitate, inalt specializat
- cresterea eficientei in atragerea de finantari prin proiecte de cercetare[13]

- spre deosebire de conceptul multi-disciplinaritatii, aducerea cercetatorilor in acelasi spatiu si crearea unor directii noi de cercetare

Interdisciplinaritatea este incurajata prin *aducerea in spatii experimentale/tehnologice comune* a cercetatorilor din diverse departamente; mai ales a celor care au nevoi si prioritati stiintifice diverse, care utilizeaza tehnici diferite si care au structuri organizatorice diferite[2].

Obiectiv esential: interactiunea cercetatorilor

In infrastructurile moderne, optimizarea efectelor interdisciplinaritatii se bazeaza pe faptul observat ca cercetatorii petrec jumatate din zi la instrumentul de lucru si cealalta jumatate la biroul propriu. Astfel, zonele experimentale trebuie proiectate astfel incat sa se incurajeze interactiunile informale intre cercetatori, prin cresterea probabilitatii intalnirilor ("coliziunilor intelectuale") si colaborarilor intre utilizatorii resurselor. Trebuie pornit de la faptul ca zonele de lucru/interactiune informale se dovedesc cele mai atractive pentru schimbul productiv de idei.

Infrastructurile curente se proiecteaza si organizeaza pentru maximizarea "coliziunilor intelectuale" si a "intersectarilor stiintifice" - spatii comune "neutre", cu dotari confortabile, asezate de-a lungul cailor uzuale de deplasare a cercetatorilor[3] - dar mai ales organizarea zonelor tehnologice pentru optimizarea conceptului de *integrare*.

Situatia internationala - integrarea nanotehnologiilor

Infrastructurile moderne pentru nanotehnologii pun accentul pe cercetarile stiintifice integrate, cu scopul principal de a permite utilizarea tehnologiilor dezvoltate la scara nano in aplicatiile reale (corespunzatoare zonelor dimensionale macro)[9].

In acest scop, camerele albe sunt proiectate ca "laboratoare pentru integrare", care asigura imbinarea optima a tehnologiilor top-down si bottom-up, in vederea testarii eficiente a ideilor de integrare micro-nano-bio-info.

In astfel de concept, echipamentele experimentale trebuie selectate ca *seturi adaptate*, diferite fata de cele ale laboratoarelor traditionale de microelectronica. Caracteristicile principale sunt:

- instrumentele nou introduse pentru structurari si caracterizari trebuie integrate cu tehnologii/instrumentatie de *rapid prototyping*
- alaturi de sectiile multidisciplinare - laboratoare de sinteze/procesari fizice, chimice, bio - trebuie sa existe zone cu echipamente ultra-sensibile (de exemplu microscopie electronica si de contact avansate)
- echipamentele esentiale pentru activitati de CDI optim intergrate sunt: CAD/CAE/High Power Computing, sector de fabricatie masti, depuneri fizice si chimice, corodari
- in plasma reactiva, nano-indentare, structurari laser, litografie cu fascicul de electroni, metode avansate de difractometrie de raze X, etc.

Interfata bio-nano

Interfata bio-nano este de importanta majora pentru o gama din ce in ce mai mare de tematici stiintifice aplicative - cum ar fi dezvoltarea de dispozitive lab-on-a-chip . In cadrul infrastructurilor experimentale, dezvoltarea si echiparea zonelor dedicate acestor tematici reprezinta o componenta majora in contextul nanotehnologiilor integrate, dar care introduce cerinte speciale[2] la nivelul proiectarii si organizarii infrastructurii:

- este nevoie in primul rand de a integra lucrul cu materiale incompatibile, si de a asigura o varietate largita de conditii de lucru; acestea implica separarea spatiilor, dar cu pastrarea in acelasi timp a vecinatatii pentru asigurarea interdisciplinaritatii
- este nevoie de o comunicare spatiala facila cu zonele tehnologice de structurare primara (litografie, depuneri de nanostraturi/nanomateriale, tratamente termice). Centrele moderne combina, astfel, camere curate de clasa farmaceutica cu spatii de camera alba pentru nanofabricatie. In unele cazuri[2] - cum ar fi Birck Nanotechnology Center, Purdue University, SUA - camera alba pentru procesari moleculare (culturi de tesuturi, bacterii, celule) este situata intr-o latura a facilitatii, in timp ce camera alba pentru procese tipice semiconductorilor este in alta latura; aceste zone fiind conectate printr-o succesiune de treceri cu protocoale diferite de acces si echipare. Pe de alta parte, la Quantum-Nano Centre, University of Waterloo, Ontario, Canada, a fost adoptata o solutie "cuplata": un spatiu-laborator ("non-curat") este asezat chiar in fata camerei albe, astfel incat obiectivele de separare si adiacenta sunt indeplinite direct; aici designerii au rezervat spatiu in interiorul camerei curate pentru procese pe substrat molecular[2].

Modele "gateway"[9]

Pentru a asigura dezvoltari ultra-avansate, combinarea capabilitatilor mai multor infrastructuri a devenit o cerinta esentiala. In acest concept de conlucrare (numit modern "physical gateways"), seturile de echipamente trebuie planificate/imbinat in mod optim, minimizand redundantele si incurajand colaborarea. In acest fel se pot realiza retele complexe si eficiente, ca de exemplu intre facilitati de microelectronica, MEMS, fabricatie fotonica, cu centre de biostiinte si cercetari de materiale.

Investitiile in infrastructuri: beneficii moderne[2,13]

Beneficiul major considerat in prezent este atragerea cercetatorilor/specialistilor cu experienta de valoare:

- prin calitatea spatiilor amenajate si a echipamentelor de cercetare
- prin capacitatea de adaptare a institutiei-gazda la dinamica continua a directiilor curente de interes in nanotehnologie

(Exemplu: Dept. de Energie din SUA a investit intr-o retea de facilitati echipate complet pentru cercetare in nanotehnologii, in vederea atragerii cercetatorilor care doresc sa-si verifice ideile stiintifice si sa cedeze partial sau complet drepturile de proprietate intelectuala derivate).

Investitiile corect planificate si optim adaptate specificului domeniului nanotehnologiilor, asigura conditiile optime pentru:

- interdisciplinaritate,
- dispunerea de un flux stiintific/tehnologic complet (proiectare/simulare/optimizare, structurare nano si mixta, depuneri controlate, rapid prototyping, caracterizare multidimensionala, integrare, testare).

Organizarea spatiului si aspecte functionale

Din punct de vedere constructiv, adaptarea la specificul domeniului complex al cercetarii in nanotehnologie presupune[2,3,4,12,14]:

- gruparea spatiilor tehnologice/experimentale dupa functionalitate (destinatie), si nu dupa afiliere organizatorica tip-departamente

- gruparea spatiilor care necesita utilitati similare si/sau caracteristici ale aerului similare (concentratie de particule, temperatura, umiditate)
- dezvoltarea unor zone/laboratoare complexe "core labs"[6, 12,17] care contin resurse esentiale (echipamente de valoare, tehnici/tehnologii, cunostinte) pentru mai multe grupuri de utilizatori si directii de cercetare. Acest concept ofera incurajarea colaborarilor interdisciplinare (marind astfel ritmul desoperirilor si productivitatii stiintifice), dar poate duce la costuri prohibitiv de mari fata de spatiile de laboratoare obisnuite[12].

Core labs[12]

In timp ce, initial, laboratoarele de acest tip adresau o gama restransa de tehnici experimentale (de ex., cristalografie, imagistica MRN, microscopie electronica), in prezent exista pana la 30 de tipuri diferite, de la zone de experimentare bio, la incaperi de caracterizare la nivel atomic, la laboratoare de inalta capacitate pentru simulare si vizualizare.

Se pot distinge 3 tipuri de zone centrale:

- (1) de sine-statoare: centrate cu predilectie in jurul unor echipamente-cheie, mai degraba decat in jurul unor anumite tipuri de cercetare
- (2) departamentale: aliniate perfect la o anumita disciplina de cercetare
- (3) spatii auxiliare (non-core): camere de conferinta, zone de comunicare informala etc.

Gruparea echipamentelor si conceptul platformelor - facilitati construite in jurul echipamentelor[4,14]

O caracteristica esentiala a organizarii cu accent pe interdisciplinaritate o reprezinta existenta asa numitelor zonelor/platformelor tehnologice ("vecinatati tehnologice"), care consta in acumularea unor echipamente utilizabile in comun. In organizarea bazata pe platforme, se disting 3 concepte:

- facilitati construite "cu platforme" - echipamentele sunt utilizate in comun in cadrul si intre departamente
- facilitati construite "ca platforme" - care functioneaza exclusiv ca platforme - instrumentele sunt utilizate de catre oricine din institutie
- facilitati construite "in jurul platformelor" - tendinta noua - facilitati dotate cu clustere specializate de instrumente pentru optimizarea cercetarilor colaborative

Din punctul de vedere al "geometriei interdisciplinare", infrastructurile pentru nanotehnologie pot fi:

- centre-facilitati interdisciplinare deschise (construite in jurul unor platforme tehnologice, dispunere spatiala care faciliteaza intalnirile/colaborarile interdisciplinare directe)
- facilitati majore dedicate (de ex., accelerator etc.)
- laboratoare departamentale (construite ca platforme tehnologice, focalizate pe o categorie de instrumente/capabilitati/cercetari).

Concluzii functionale desprinse din experienta curenta[15]

- facilitatile recent dezvoltate se bazeaza pe colaborarea interdisciplinara a unor grupuri din 4 arii de cercetare: nanofabricatie, nanocaracterizare, sinteza/crestere/depunere de materiale, nanobiotehnologie.
- in proiectarea/utilizarea facilitatilor avansate de CDI in nanotehnologii, se pot reduce costuri semnificative pe baza realizarii faptului ca gradul de contaminare nu trebuie redus la nivele

exagerat de avansate: clasa 10.000/1.000 versus clasa 100 (economie imensa, cu efect neglijabil pentru numeroase cercetari)[8,15].

Elemente esentiale strategice si operationale

Importanta facilitatilor deschise

Infrastructurile moderne sunt organizate ca *facilitati deschise*, accesibile utilizatorilor si colaborarilor, cu acces reglementat, direct sau indirect. Categoriile principale de utilizatori externi infrastructurii sunt formate din (1) alte grupuri de cercetare, (2) studenti, doctoranzi, post-doctoranzi, (3) companii din industrie active in inovare.

Modurile principale de colaborare cu utilizatorii externi ai facilitatilor deschise sunt:

- parteneriatele in activitati de CDI, cu impartirea drepturilor de proprietate intelectuala - utilizare cu acces *direct*
- realizarea de servicii stiintifice si tehnologice, incluzand proiectare si consultanta - acces *indirect*, prin contracte de servicii

In cazul infrastructurilor moderne pentru nanotehnologie, caracterul deschis este o trasatura esentiala, care maximizeaza eficienta utilizarii acestor facilitati prin:

- a. promovarea si optimizarea *interdisciplinaritatii* in utilizarea resurselor si a cunostintelor;
- b. atentia acordata laturii *educative*, a construirii resursei umane calificate prin instruire de inalta calitate;
- c. asigurarea unei interfete optime pentru interactiunea cu industria, prin colaborari "hands-on".

Importanta retelelor de facilitati

Initiativa nationala SUA (NNI/2000, 2007) a fundamentat crearea unei retele de facilitati pentru nanotehnologie, cu scopul de a exploata in mod optim investitiile in infrastructura de cercetare in acest domeniu[6]. Reteaua nationala de infrastructuri pentru nanotehnologie (National Nanotechnology Infrastructure Network - NNIN) reprezinta un parteneriat a 13 institutii prin care se realizeaza o infrastructura distribuita multivalenta, interdisciplinara si larg accesibila. Organizatoric si structural, NNIN adreseaza temele strategice stabilite prin initiativa NNI/SUA prin punerea la dispozitia unei game largi de utilizatori a:

- unor laboratoare deschise de inalta calitate
- personalului specializat si posibilitati de instruire
- suportului pentru dezvoltarea unor directii interdisciplinare de cercetare

Printre avantajele oferite prin realizarea unor *retele de facilitati* pentru cercetarea in nanotehnologie enumeram:

- a. gruparea unor centre deschise avansate
- b. oferta completa de servicii pentru industrie
- c. exploatarea optima a investitiilor prin eficientizarea colaborarilor si schimburilor de idei
- d. echilibrarea optima a expertizei pe diversele zone tehnologice
- e. maximizarea modurilor si variantelor de utilizare a echipamentelor (rezultand intr-o mai buna utilizare a fiecarui echipament in parte)

- f. crearea unei baze complexe de instruire pentru pregatirea competentelor stiintifice si tehnologice interdisciplinare

Rețelele de infrastructuri pentru nanotehnologie permit imbunatatirea conditiilor de realizare a unor experimente avansate prin integrarea cunostintelor si prin coordonarea unor etape complexe de procesare si configurare, cuplate cu experimente avansate de sinteza si asamblare la scara moleculara[18].

Situatia pe plan national - trecere in revista a infrastructurilor pentru nanotehnologie

Sectiunea de fata isi propune initierea unei metodologii de indexare a resurselor pentru CD in nanotehnologie pe plan national. In acest context, problema principala este cea a identificarii categoriilor (seturilor) de echipamente (sau capabilitati experimentale) relevante pentru acest bilant. Obiectivul este de a obtine o lista de capabilitati per institutie/centru, de tipul celei excelent compilate in cadrul retelei NNIN (v. [7]):

NNIN Process Capabilities Table

<i>This table is constantly evolving</i>	<i>Cornell</i>	<i>Stanford</i>	<i>U. Michigan</i>	<i>Georgia Tech</i>	<i>U. Washington</i>	<i>Penn. State</i>	<i>U.C.S.B.</i>	<i>U. Minnesota</i>	<i>U. Texas-Austin</i>	<i>U. New Mexico</i>	<i>Harvard</i>	<i>Howard</i>	<i>NCSU / TNLC</i>
Ebeam Lithography													
Ebeam resist processing	3	2	2	2	2	3	2	2	3	1	2	-	0
Extent of ebeam resist selection	4	2	1	3	2	4	2	2	1	1	-	-	0
Precision ebeam lithography	4	2	1	4	1	3	2	2	3	1	3	-	0
Photolithography													
chemically amplified resists	3	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	-	4
Contact photolithography	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	-	3
Contact photolithography-backside align	3	3	3	3	2	2	3	3	3	0	1	-	0
Deep UV projection photolithography-193 nm (Stepp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	4
Deep UV projection photolithography-248 nm (Stepp	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	-	0
Extent of photoresists supported	3	3	2	3	1	3	2	3	1	1	3	-	2
g-line projection photolithography	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Holographic/ Interferometric Lith.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
i-line projection photolithography	3	1	3	0	0	0	3	0	0	0	0	-	0
Mask fabrication by ebeam	4	0	1	4	0	3	1	0	3	0	0	-	0
Mask fabrication by optical means	4	2	2	3	-	4	0	3	0	1	4	-	0
Standard resist processing -manual	3	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	-	3
Standard resist processing-track	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1
SU-8 processing	3	2	2	3	2	3	2	3	0	1	3	-	1
Vapor phase image reversal	2	1	2	0	0	0	2	2	2	2	-	-	2
Vapor prime	2	2	2	0	0	0	1	1	2	0	-	-	0
Other Patterning													
Hot embossing (into plastic)	2	0	0	3	0	3	3	1	0	0	-	-	0
Microcontact printing of molecular films	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nanoimprint (into resist)	2	1	1	2	0	3	3	0	4	0	3	-	0
Nanoimprint template fabrication	1	1	2	1	0	-	2	1	3	1	3	-	0
Physical Vapor Deposition													
Evaporation-Al	2	2	2	3	1	3	3	3	3	2	3	-	2
Evaporation-Au	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	-	2
Evaporation-other metals	2	2	2	3	0	3	3	3	3	2	3	-	2
Evaporation-Oxides	2	0	2	2	0	3	2	2	0	2	3	-	0
Evaporation-Refractory metals	2	2	2	2	0	3	2	3	3	2	3	-	2

În exemplul de pe site-ul NNIN, pe lângă trecerea în revistă a potențialului experimental al celor 13 centre care formează rețeaua NNIN, se realizează și un rating semi-cantitativ al nivelului capacităților puse la dispoziție de fiecare centru în cadrul rețelei.

Pornind de la acest model, pe baza informației furnizate - la Secțiunea 4.3 - în cadrul celor 55 de înregistrări în chestionarul electronic propus în cadrul proiectului NANOPROSPECT[19], s-a realizat un prim exercițiu de indexare și rating a resurselor experimentale relevante, disponibile pe plan național, pentru networking și colaborări în domeniul nanotehnologiilor.

În acest scop, capacitățile experimentale au fost împărțite în următoarele categorii:

- Camera albă (clasa cel puțin 1000)
- Nanolitografie
- Fotolitografie
- Depuneri fizice
- Procese termice
- Depuneri chimice (plasma), MBE
- Corodări uscate
- SEM, FIB, TEM, XRD - caracterizare/microscopie prin fascicul energetic
- AFM, STM, SNOM, profilometrie, nanocaracterizare suprafețe - caracterizare/microscopie prin probe de baleiaj
- Spectrometrie (IR, Raman, NMR, masă), analize/procesări chimice
- Nano-bio (spotting, caracterizări, analize nanoparticule)
- Procesări laser
- High Power Computing

Urmand tot modelul NNIN, capacitățile raportate pentru infrastructurile înregistrate au fost notate pe o scară de la 0 la 4, după cum urmează:

- 0 = nu există capacități semnificative
- 1 = există capacități limitate
- 2 = capacități de bun nivel
- 3 = capacități excelente - care depășesc pe cele oferite de cele mai multe dintre infrastructurile înregistrate și care oferă posibilități experimentale pentru abordarea celor mai multe dintre proiectele de cercetare de înalt nivel
- 4 = capacități unice pe plan național, competitive la nivel mondial

De subliniat că tabelul rezultat - prezentat mai jos - reprezintă o primă încercare de indexare a capacităților pe plan național și este supus dezbaterilor în vederea perfectării și evoluției calitative a informației utile. În timp ce orizontalele tabelului oferă o imagine a capacităților oferite de fiecare entitate înregistrată în cadrul chestionarului, verticalele oferă o primă imagine de ansamblu a distribuției pe categorii experimentale și pot astfel servi la identificarea complementarităților

interdisciplinare în vederea formării rețelei naționale de infrastructuri pentru nanotehnologie. De remarcat că tabelul nu poate reflecta *gradul de utilizare* a acestor capacități raportate de entitățile înregistrate.

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
1	S.C.METAV Cercetare Dezvoltare S.A. METAV-CD	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-
2	Science Biocreative - SBC S.R.L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	IC Interdisciplinare in Bio-Nano-Stiinte - ICI-BNS	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	3	-	-
4	INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei - INFLPR	-	-	-	3	-	1	2	2	2	3	-	4	-
5	Univ. POLITEHNICA din Bucuresti - UPB	-	-	-	-	3	-	-	3	-	2	0	-	-
6	Inst. oncologic Ion Chiricuta - IOCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-
7	Inst. de Biochimie al Academiei Romane - IB-AR	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	1	-	-
8	Inst. de Chimie Timisoara al Academiei Romane - ICT	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	1
9	Univ. Politehnica Bucuresti - UPB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
10	Centrul IT pentru Stiinta si Tehnologie SRL - CITST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	CHEMSPEED - CHEMSPEED	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Univ. Politehnica din Bucuresti-Grupul de cercetare pentru materiale polimerice avansate - UPB-MPA	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-
13	INCD pentru Fizica Materialelor - INCDFM	4	3	0	4	2	3	0	4	4	4	3	3	0
14	SC OPTOELECTRONICA-2001 SA	-	2	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
15	Centrul International de Biodinamica - CIB	-	-	-	3	-	-	-	-	1	-	3	-	-
16	INC Aerospatiale "Elie Carafoli" - INCAS	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-
17	Univ. "Aurel Vlaicu" din Arad - UAV													
18	SC Plasma Jet SRL - PJ	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
19	Inst. de Biologie Bucuresti - IBB	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	3	-	-
20	INCD pentru Metale Neferoase si Rare - INCDMNR-IMNR	1	-	-	2	4	1	-	-	-	3	3	-	-

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
21	IINCD pentru Fizica si Inginerie Nucleara- Horia Hulubei-IFIN-HH - IFIN-HH	-	-	-	-	-	-	1	-	2	2	-	2	3
22	INCD pentru Optoelectronica INOE 2000 - INOE 2000	-	-	-	2	-	-	-	-	-	3	-	2	-
23	INCD pentru masini si instalatii destinate agriculturii si industriei alimentare - INMA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-
24	INCD pentru stiinte biologice Bucuresti - INCDSB	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	3	-	-
25	INCD pentru Textile si Pielarie - INCDTP	-	-	-	-	-	2	-	3	-	3	3	-	-
26	INCD pentru Mecatronica si Tehnica Masurării - INCDMTM	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-
27	INCD chimico-farmaceutica - ICCF Bucuresti - INCDCF-ICCF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-
28	Univ. de Medicină și Farmacie - UMFCF	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-
29	INCD pentru Electrochimie si Materie Condensata Timisoara - INCEMC	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	0	-	-
30	S.C. Centrul De Cercetare Pentru Materiale Macromoleculare Si Membrane S.A. - CCMMM	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-
31	Univ. Dunarea de Jos Galati -Centrul de Nanostructuri si Materiale Functionale - UDJ-CNMF	2	-	-	2	-	2	-	3	2	3	1	-	-

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
32	INCD pentru Microtehnologie - IMT-Bucuresti	4	4	4	2	3	3	3	4	3	3	4	2	3
33	Univ. de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Cluj-Napoca - USAMVCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0	-	-
34	INCD pentru Chimie si Petrochimie - ICECHIM	-	-	-	-	-	-	-	3	3	2	2	-	-
35	Univ. din Craiova - UCV	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	2	-
36	Inst. de Chimie Macromoleculara "Petr Poni" Iasi - ICMPP	4	-	-	-	2	1	-	3	3	4	4	-	3
37	Univ. Tehnica Gheorghe Asachi din Iasi - TUIASI													
38	SC Chemi Ceramic F SRL - CHEMICER	-	-	-	-	2	-	-	-	1	1	-	-	-
39	Inst. de Biologie si Patologie Celulara "NICOLAE SIMIONESCU" - IBPC	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	2	-	-
40	Univ. de Medicina si Farmacie "Iuliu Hațieganu" - UMF CN	0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-	-
41	Univ. Petrol-Gaze din Ploiesti - UPG	-	-	-	-	-	3	-	2	-	1	1	-	-
42	Centrul de Microscopie-Microanaliza si Procesarea Informatiei, Univ. Politehnica Bucuresti - CMMPI-UPB	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	2	-

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
43	Facultatea de Stiinte Aplicate, Univ. Politehnica Bucuresti - FSA/UPB	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3
44	INCD in Domeniul Patologiei si Stiintelor Biomedicale "Victor Babes" - INCDEVB	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	3	-	-
45	Univ. Dunarea de Jos Galati, Centrul de Competente (Cercetare) Interfete - Tribocorozione si Sisteme Electrochimice (CC-ITES) - UDJG, CC-ITES	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	-	-	-
46	INCD pentru Inginerie Electrica - Cercetari Avansate - INCDIE ICPE-CA	0	-	3	3	2	-	-	4	3	3	2	2	-
47	S. C. Honeywell Romania S.R.L. - HON													
48	INCD pentru Fizica Tehnica – INCDFIT-IFT Iasi	0	4	-	3	3	-	-	4	4	4	-	-	-
49	SC DDS Diagnostic SRL - DDS													
50	Univ. Politehnica Bucuresti (Laboratorul pentru Controlul Calitatii Produselor) - UPB (LCCP)	-	-	-	1	-	-	-	-	1	2	-	-	-
51	INCD pentru Ecologie Industriala - INCD-ECOIND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-
52	SC ECODET ACTIV SRL - EA													

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografi e	Depuner i fizice	Procese termice	Depuner i chimice (plasma) , MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriza re suprafete	Spectrome trie (IR, Raman, NMR, masa), analize/pr ocesari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari, analize nanoparticul e)	Procesa ri laser	High Power Computi ng
53	SC ROM QUARTZ SA - RQ													
54	INCD pentru Stiinte Biologice - INCDSB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
55	Inst. de Mecanica Solidelor al Academiei Romane - IMSAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3

		Camera alba (clasa cel putin 1000)	Nano- litografie	Foto- litografie	Depuneri fizice	Procese termice	Depuneri chimice (plasma), MBE	Corodari uscate	SEM, FIB, TEM, XRD	AFM, STM, SNOM, profilo- metrie, nano- caracteriz are suprafete	Spectrometr ie (IR, Raman, NMR, masa), analize /proc esari chimice	Nano-bio (spotting, caracterizari , analize nanoparticul e)	Procesari laser	High Power Computing
1	S.C.METAV Cercetare Dezvoltare S.A. METAV-CD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Science Biocreative - SBC S.R.L.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	IC Interdisciplinare in Bio-Nano-Stiinta - ICI-BNS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	INCD pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiatiei - INFLEPR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Univ. POLITEHNICA din Bucuresti - UPB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Inst. oncologic Ion Chiricuta - IOCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Inst. de Biochimie al Academiei Romane - IB-AR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Inst. de Chimie Timisoara al Academiei Romane - ICT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Univ. Politehnica Bucuresti - UPB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Centrul IT pentru Stiinta si Tehnologie SRL - CITST	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	CHEMSPEED - CHEMSPEED	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Univ. Politehnica din Bucuresti-Grupul de cercetare pentru materiale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	INCD pentru Fizica Materialelor - INCDFM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	SC OPTOELECTRONICA-2001 SA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Centrul International de Biodinamica - CIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	INC Aerospaiale "Elie Carafoli" - INCAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Univ. "Aurel Vlaicu" din Arad - UAV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	SC Plasma Jet SRL - PJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Inst. de Biologie Bucuresti - IBB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	INCD pentru Metale Neferoase si Rare - INCDMNR-IMNR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	IINCD pentru Fizica si Inginerie Nucleara-Horia Hulubei-IFIN-HH - IFIN-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	INCD pentru Optoelectronica INOE 2000 - INOE 2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	INCD pentru masini si instalatii destinate agriculturii si industriei	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	INCD pentru stiinte biologice Bucuresti INCDSB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	INCD pentru Textile si Pielarie - INCDTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	INCD pentru Mecatronica si Tehnica Masurarii - INCDMTM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	INCD chimico-farmaceutica - ICCF Bucuresti - INCDCF-ICCF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	Univ. de Medicină și Farmacie - UMFCO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	INCD pentru Electrochimie si Materie Condensata Timisoara - INCEMC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	S.C. Centrul De Cercetare Pentru Materiale Macromoleculare Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	Univ. Dunarea de Jos Galati -Centrul de Nanostructuri si Materiale Functionale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	INCD pentru Microtehnologie - IMT-Bucuresti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	Univ. de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Cluj-Napoca - USAMVCN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	INCD pentru Chimie si Petrochimie - ICECHIM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Univ. din Craiova - UCV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	Inst. de Chimie Macromoleculara "Petru Poni" Iasi - ICMPP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Univ. Tehnica Gheorghe Asachi din Iasi - TUIASI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	SC Chemi Ceramic F SRL - CHEMICER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	Inst. de Biologie si Patologie Celulara "NICOLAE SIMIONESCU" - IBPC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	Univ. de Medicina si Farmacie "Iuliu Hatieganu" - UMF CN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	Univ. Petrol-Gaze din Ploiesti - UPG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	Centrul de Microscopie-Microanaliza si Procesarea Informatiei, Univ.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Facultatea de Stiinte Aplicate, Univ. Politehnica Bucuresti - FSA/UPB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	INCD in Domeniul Patologiei si Stiintelor Biomedicale "Victor Babes" -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	Univ. Dunarea de Jos Galati ,Centrul de Competente (Cercetare) Interfete -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	INCD pentru Inginerie Electrica -Cercetari Avansate - INCDIE ICPE-CA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	S. C. Honeywell Romania S.R.L. - HON	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	INCD pentru Fizica Tehnica - INCDFT-IFT Iasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	SC DDS Diagnostic SRL - DDS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	Univ. Politehnica Bucuresti (Laboratorul pentru Controlul Calitatii	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	INCD pentru Ecologie Industriala - INCD-ECOIND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	SC ECODET ACTIV SRL - EA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	SC ROM QUARTZ SA - RQ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	INCD pentru Stiinte Biologice - INCDSB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	Inst. de Mecanica Solidelor al Academiei Romane - IMSAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Referinte

- [1] *Nanotechnology: What is it and how will it affect us?*, Report, Edited by: Catalan Foundation for Research and Innovation (FCRI), June 2009,
(http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~527~.html?action=longview_publication&).
- [2] Nicole Zaro Stahl, *Nanotechnology Research Trends and Facilities Needs*, November 2006,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/E7FC86BE-2B3B-B525-8EBBC25ACAA4D6A2>).
- [3] Johnathon Allen, *Emerging Design Trends for Interdisciplinary Research*, February 2008,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/C6E98526-2B3B-B525-875059056AECCA84>).
- [4] Johnathon Allen, *Platform-Driven Planning for Multi-Disciplinary Science Facilities*, April 2009,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/165CDF39-E1C9-3F34-A2E2A83DE215F231>).
- [5] *European Nanotechnology Infrastructure and Networks*, Nanoforum Report, Editor: Mark Morrison, July 2007,
(http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~321~.html?action=longview_publication&).
- [6] <http://www.nnin.org>
- [7] http://www.nnin.org/nnin_process2.html
- [8] Lee Ingalls, *Making Room for Nanotechnology - Emerging Cross-Disciplinary Science Requires a Specialized Facility*, March 2003,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/C5218372-82CA-42A4-AD7F569A96053138>)
- [9] Johnathon Allen, *Center for Integrated Nanotechnology Emphasizes Innovation*, February 2004,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/AAE2DBA0-2B3B-B525-8E157D1892B6BEC2>).
- [10] Lisa Wesel, *Correctly Sizing Utilities is Critical for Nanotechnology Labs - Bigger is Not Necessarily Better*, November 2008,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/405406D7-2B3B-B525-8A1875DD781CA265>).
- [11] Deborah Kreuze, *Highly Technical Facilities Cost More to Operate and Maintain Than You Think - Decision-makers Must Understand and Commit to Long-Term Expense*, April 2008,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/E2397487-2B3B-B525-8D48F2EDEEE67EC4>).
- [12] Amy Cammell, *The Rise of Core Laboratories*, September 2007,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/948A5022-2B3B-B525-8E318FF299A246E2>).
- [13] Lisa Wesel, *Interdisciplinary Approach Generates Better Research*, March 2007,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/7198021B-2B3B-B525-848E7F7338B66347>).
- [14] Lisa Wesel, *Multidisciplinary Buildings Create Unique Design Challenges - Solutions Require Understanding of Instrumentation Needs*, October 2006,
(<http://www.tradelineinc.com/reports/C994E73B-2B3B-B525-8DE2F93912ED8048>).
- [15] Lee Ingalls, *Duffield Hall Nanotechnology Research Moves Forward - Cornell University's New Facility Builds on Lessons Learned*, March 2003,
(<http://www.tradelineinc.com/go.cfm?id=5F4C13EE-CACC-43C1-C59075EE7926253&ul=j28zcb>).
- [16] *Nanomaterials State of the Market Q1 2009*, Lux Research State of the Market Reports, Lux Research Inc., January 2009.
- [17] <http://www.euminafab.eu>
- [18] http://www.researchwatch.net/nsf_grants/0335765
- [19] <http://www.imt.ro/NANOPROSPECT/formular-cautare/>