



Treball de fi de màster

Introducció de la nanotecnologia a l'ensenyament secundari

Cognoms:	<i>Masmitja Rusiñol</i>
Nom:	<i>Gerard</i>
Titulació:	<i>Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes</i>
Especialitat:	<i>Tecnologia</i>

Directora:	<i>Ester Guaus Guerrero</i>
Data de lectura:	<i>Juny 2020</i>

Resum

Aquest treball de màster mostra com es pot utilitzar la nanotecnologia com a fil conductor que permeti, per una banda, millorar les competències STEM de l'alumnat de l'ensenyament secundari obligatori. I per altra banda, que permeti fomentar la seva curiositat i motivació científica i tecnològica.

En aquest sentit, l'ensenyament de la nanotecnologia és molt útil per vincular diferents àmbits i continguts curriculars, fomentant així competències i/o vocacions STEM entre l'alumnat, essent aquest un dels objectius no només a escala nacional, sinó també europeu.

Així doncs, s'han dissenyat tres propostes de material didàctic, les quals tenen com a fil conductor la nanotecnologia aplicada a l'electrònica. En cada una d'elles s'ha intentat, a més a més, que l'alumne utilitzi diferents recursos d'aprenentatge, com ara la realització d'experiments, simulacions, resolució de problemes plantejats, debats, exposicions, etc. En concret, les propostes presentades estan relacionades amb els conceptes següents: el procés litogràfic, el material semiconductor i el transistor (dispositiu electrònic).

L'enginyeria i la física que hi ha darrere d'algun dels conceptes desenvolupats en aquest treball no és gens fàcil, i menys fer una simplificació perquè sigui comprensible, útil i motivador pels alumnes d'ESO. Així i tot, aquest ha sigut un dels reptes en el desenvolupament d'aquesta proposta. La utilització de simulacions ha sigut una font d'inspiració i ajuda per poder aconseguir, en part, l'èxit en aquest punt. Així doncs, es donen com assolits els objectius marcats a l'inici del treball, és a dir preparar material didàctic per fomentar competències STEM des d'un punt de vista científicotecnològic a l'alumnat d'ESO mitjançant la nanotecnologia.

Índex

Resum	III
Índex.....	V
1. Introducció.....	7
2. Proposta	9
3. Objectius	11
4. Estat de l'art	13
5. Metodologia.....	17
6. Material didàctic	19
6.1. Descripció	19
6.2. Avaluació	20
6.3. Proposta 1 (Nanolitografa)	21
Introducció.....	21
Etapla escolar	21
Objectius	21
Informació complementària	21
Relació a la vida quotidiana	22
Problema plantejat	22
Motiu de les activitats i orientacions pel professorat	22
Adequació curricular	25
6.4. Proposta 2 (Semiconductor)	26
Introducció.....	26
Etapla escolar	26
Objectius	26
Informació complementària	27
Relació a la vida quotidiana	27
Problema plantejat	27
Motiu de les activitats i orientacions pel professorat	28
Adequació curricular	30

6.5. Proposta 3 (Nanotranistors)	31
Introducció	31
Etapla escolar.....	31
Objectius.....	31
Informació complementària	32
Relació a la vida quotidiana.....	32
Problema plantejat.....	32
Motiu de les activitats i orientacions pel professorat	33
Adequació curricular	36
7. Conclusions i Treball futur	37
8. Referències	39
Annex 1 (Nanolitografia).....	41
Annex 2 (Semiconductor)	49
Annex 3 (Nanotransistors).....	55



1. Introducció

La nanotecnologia s'ha implementat a la nostra societat de tal manera que la podem trobar en múltiples àmbits, des d'aplicacions en productes alimentaris i tèxtils, fins a la indústria electrònica i farmacèutica [1]–[4]. Així doncs, introduir conceptes bàsics de la nanotecnologia en alumnes de secundària és fonamental per dotar-los d'eines les quals els seran útils per comprendre i interpretar el món que els envolta, com també desenvolupar-se en les noves professions que deriven d'aquests camps. És per aquest motiu, essent una societat altament tecnològica, que fomentar les vocacions STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) entre les noies i els nois de secundària és un objectiu per si mateix.

Catalunya

Per la seva banda, el Departament d'Educació de la Generalitat de Catalunya, amb l'acord de govern (ACORD GOV/125/2019), de 17 de setembre del 2019 aprova el Pla STEMcat, per impulsar els joves en les vocacions científiques, tecnològiques, en enginyeria i matemàtiques, a totes les seves etapes educatives i formatives [5]. El Pla STEMcat té com a objectius generals:

- Augmentar el número de joves amb titulacions STEM.
- Fomentar la participació del gènere femení en els estudis STEM.
- Millorar les competències STEM en l'educació obligatòria.
- Millorar l'orientació personal, acadèmica i professional de les vocacions STEM.
- Transmetre el valor social de la ciència, la tecnologia i les matemàtiques.

Per dur a terme aquest Pla s'han dissenyat 4 eixos [6]. Un primer eix que està encarat a la formació dels docents de l'educació obligatòria. Lligat en aquest, hi ha el segon eix, dedicat a potenciar les competències científiques, tecnològiques i matemàtiques dels estudiants de l'educació obligatòria. Finalment el tercer i quart eixos, estan encarats a l'orientació de l'alumnat a través de la participació de les empreses del sector a l'escola, i la integració de les STEM a la societat a través d'activitats adreçades a la comunitat educativa.

És obvi, que una bona educació implica tenir un professorat amb aptituds pedagògiques, però també amb coneixements sòlids de la matèria a impartir. En aquest sentit, l'àmbit STEM no és una excepció, sinó el contrari, a causa de la seva alta complexitat, és més necessari que mai tenir professorat ben preparat. En aquest sentit, el Pla STEMcat recull accions clares i concretes com són: Eix 1, Línia

d'acció 1, formació inicial i permanent de professors. Per altra banda, tenir professorat ben preparat, significa que aquests tinguin eines al seu abast: Eix 2, Línia d'acció 1, potenciar i actualitzar el currículum de l'àmbit STEM a tots els nivells educatius i Línia d'acció 2, metodologies i recursos.

Europa

La Unió Europea també ha fet diferents informes, a través de la comissió de recerca, ciència i innovació, on assenyalen l'àmbit STEM com a estratègic per a l'educació i la societat. En aquest sentit, l'informe del grup d'experts en educació científica «Science Education for Responsible Citizenship» [7], apunta un seguit d'objectius i recomanacions:

- L'educació científica hauria de ser part essencial en l'educació. Essent rigorosa i intel·lectualment enriquidora, al mateix temps que senzilla i planera, per així assegurar la motivació dels alumnes i augmentar l'interès per futurs estudis i aprofundir amb la matèria.
- Augmentar les competències del propi aprenentatge i vincular la ciència amb altres àmbits. Passant així de la dominada STEM a STEAM, on la A significa *All* (totes) tots els altres àmbits.
- La qualitat de l'ensenyament i el professorat.
- Involucrar a tots els actors socials en l'educació i la ciència, des de l'educació reglada fins a la societat civil, passant per empreses i actors socials.
- Promoure una recerca i innovació responsable.
- Connectar els estudis amb les necessitats locals i globals.



2. Proposta

En aquest marc, descrit a l'apartat anterior, es pretén desenvolupar un seguit de recursos didàctics per dotar al professorat amb eines que puguin ser útils per potenciar les competències de l'alumnat en l'àmbit STEM, com també fomentar la seva vocació en aquest camp.

La idea és utilitzar la nanotecnologia com a fil conductor en un projecte/material didàctic que permetrà involucrar diferents conceptes, àmbits i continguts curriculars. Essent la nanotecnologia un concepte molt ampli i complex, es concreta amb l'estudi de la tecnologia del semiconductor, tecnologia clau per entendre la societat actual altament tecnificada i interconnectada. A partir de l'estudi del transistor (dispositiu bàsic en la història i el futur de l'electrònica) es pretén introduir conceptes de semiconductor (material), estructura atòmica i moviment dels electrons, principi bàsic de funcionament i els principals descobriments relacionats amb el transistor, com també processos tecnològics.

El material didàctic desenvolupat en aquest treball està dissenyat (nivell i continguts) per a ser utilitzat a tercer d'educació secundària obligatòria (ESO) i/o a 4t d'ESO per així potenciar que els alumnes triïn optatives de quart d'ESO relacionades amb les STEM i/o el Batxillerat científicotecnològic.

En concret s'han dissenyat tres propostes amb un seguit d'activitats, totes relacionades amb un tema en concret (nanolitografia, semiconductor i nanotransistors). Per fer el material didàctic el màxim de competencial possible, s'ha intentat diversificar les propostes presentades: experimentació, recerca de coneixement, realització de problemes, treballs en grup, exposicions i debats grupals i/o de classe.

El material didàctic desenvolupat pot ser utilitzat per introduir nou coneixement, així i tot, s'aconsella utilitzar-lo un cop els alumnes estiguin familiaritzats amb els conceptes que s'utilitzen. La pròpia complexitat de la nanotecnologia i el món de la tecnologia del semiconductor, pot dificultar la comprensió de determinat contingut, si prèviament no s'ha treballat a classe. També s'aconsella que el material didàctic relacionat amb el nanotransistor sigui utilitzat després dels altres dos, essent així més coherent amb la construcció del propi coneixement. Així i tot, s'ha intentat desenvolupar les tres propostes perquè siguin autoexplicatives, i per tant, puguin ser utilitzades independentment o conjuntament.



3. Objectius

Com a objectiu principal d'aquest treball de màster és utilitzar la nanotecnologia com a fil conductor que permeti, per una banda, millorar les competències STEM de l'alumnat de l'ensenyament secundari obligatòria. I per altra banda, que permeti fomentar la seva curiositat i motivació científica i tecnològica. Per assolir aquests dos objectius, el treball s'ha dividit amb els següents objectius parcials:

- Estudiar l'estat de l'art relacionat amb les iniciatives existents per introduir la nanotecnologia a l'educació secundària obligatòria.
- Desenvolupar un recurs didàctic que faciliti als docents poder introduir conceptes bàsics de la nanotecnologia a l'aula.
- Potenciar les competències STEM.
- Fomentar les vocacions STEM.



4. Estat de l'art

Derivat del Pla STEMcat aprovat per la Generalitat de Catalunya, el setembre del 2019 [5], s'ha desenvolupat el Programa STEMcat [8], el qual vol afavorir, entre l'alumnat pre-universitari, el desenvolupament de les competències transversals i pròpies relacionades amb els àmbits científicotecnològics i matemàtic.

El Programa STEMcat recull un seguit de propostes perquè els centres docents puguin desenvolupar activitats a l'aula. Aquestes són molt variades i donen la possibilitat de treballar transversalment el currículum d'ESO a partir d'un concepte, tal com: el bosc, el número pi, l'eficiència, la ràdio, entre d'altres. També hi ha un apartat dedicat a projectes transversals, en aquest cas, són com les propostes, però més detallat i concret. De projectes n'hi ha cinc de plantejats: Projecte avions, caixes de ciències (educació infantil), caixa niu, contaminació atmosfèrica i microbiota bocal. Tot i disposar de recursos molt interessants per aplicar a l'àmbit científic-tecnològic, no s'ha detectat cap element vinculant a la nanotecnologia.

Un altre servei educatiu per trobar informació, és el CESIRE (Centre de recursos pedagògics Específics de Suport a la Innovació i la Recerca Educativa) [9]. Les seves funcions, entre d'altres, inclouen la de dissenyar i difondre activitats i recursos educatius pel professorat. Es pot cercar per àmbits o projectes, entre els quals hi ha un apartat destinat a STEM/STEAM, on hi ha quatre propostes: STEM a l'espai, nanotecnologia, tecnologia creativa i motxilla bioclimàtica.

Referent a la proposta de nanotecnologia del CESIRE, s'ha dissenyat un programa anomenat NanoEduca [10], per introduir la nanociència i la nanotecnologia a l'alumnat i professorat de secundària i batxillerat. Aquest programa va guanyar el premi nacional de comunicació científica del 2018, dels premis nacionals de recerca [11]. NanoEduca està basat en tres línies d'acció: formació de professorat, material educatiu i un apartat de concursos pels alumnes. El material educatiu està format per un kit d'experimentació (Nanokit) [12], amb un canal de YouTube [13] per accedir a informació complementària i una guia didàctica. A la taula 1 es resumeix el contingut de la guia didàctica, la qual està en format de fitxes. Cada fitxa utilitza com a fil conductor un conceptes específics de la nanotecnologia.

NanoEduca disposar de recursos molt interessants per introduir la nanotecnologia a secundària. Totes elles, però, estan focalitzades en les propietats dels materials, les superfícies, les nanopartícules, etc.

El plantejament d'aquest treball, doncs, és complementària al material didàctic de NanoEduca. Es pretén abordar un altre punt de vista de la nano: no es vol focalitzar en les propietats relacionades a la mida nanomètrica, sinó com aquesta miniaturització ha permès fabricar els dispositius electrònics d'avui en dia. És a dir, fer una introducció a la tecnologia del semiconductor perquè tot alumne de secundària tingui uns coneixements bàsics de com funciona un dispositiu d'ús quotidià, tal com el telèfon mòbil o l'ordinador.

Un altre repositori de recursos per a l'aprenentatge competencial és EduCaixa de la fundació «La Caixa» [14]. On ofereixen recursos i activitats educatives pel desenvolupament competencial de l'alumnat, proporcionen i impulsen la formació de professorat i equips directius i promouen l'avaluació, generació i transferència d'evidències. Entre els quals, hi ha un programa educatiu per al desenvolupament de la competència científica entre l'alumnat d'ESO, Batxillerat i Cicles Formatius, anomenat STEAM×Change [15]. El fil conductor d'aquest programa és el de la salut: conèixer la realitat a la societat, analitzar-la i la presa de decisions fonamentades amb el coneixement científic.

STEAM×Change està dissenyat per ser dut a terme en un seguit de sessions, entre 9 i 18, en funció de si es vol fer un itinerari amb una intensitat baixa, moderada o alta. Les sessions estan pensades per dur-se a terme en tres fases: Introducció, Desenvolupament i Reflexió/Tancament de l'activitat. I permet treballar continguts curriculars de 3r ESO (Biologia i Geologia) i de 4t d'ESO (Cultura científica).

Pel que fa a literatura, destacar dos llibres, per una banda, el de «nanociencia y nanotecnología: entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro» [16] de la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología). Tal i com diuen els seus autors, aquest no és només un llibre de consulta, sinó una font de recursos i idees per apropar la nanotecnologia al professorat i a l'alumne. El llibre està dividit en nou capítols, el primer i l'últim tracten sobre la introducció i connotació social, respectivament. Els altres set, estan repartits amb els següents temes: Nano-eines, nano-materials, nano-química, nano-biotecnologia, nano-electrònica, nano-simulació i nano-aplicacions.



Així doncs, el capítol que més s'ajusta al plantejament d'aquest treball és el de la nano-electrònica: del silici a les molècules. On s'explica l'estructura del transistor i com la nano dimensió dels conductors fa que la llei d'Ohm no es compleixi. Aquest és un bon llibre per ajudar al professor a explicar aquests conceptes, així i tot, no hi ha material didàctic que pugui ser donat a l'alumnat, tret d'algun exercici convencional.

Per altra banda, hi ha el llibre «guia didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria» [17] del programa Iberoamericà CYTED (Ciencia Y Tecnología para El Desarrollo), conjuntament amb la red José Roberto Leite (nanoDYF). Aquesta guia didáctica esta dividida amb cinc capítols principals, els quals estan formats per diferents activitats didàctiques, més una introducció general a la nanotecnologia. Els cinc capítols s'agrupen en els conceptes de nano-escala, nano-fabricació, nano-observació, nano-aplicacions i nano-perills.

En aquest llibre hi ha material didàctic, en forma de fitxes i experiments/exercicis per poder realitzar a l'aula. Per exemple hi ha material per treballar les nanosuperfícies i com aquestes afecten la hidrofobicitat (ho comparen amb les fulles del lotus) o com afecten les nanopartícules de plata amb la dispersió de la llum. Aquests dos exemples també els trobem amb el material descrit més amunt de NanoEduca [10]. Tot i així, no hi ha una dedicació específica a la tecnologia del semiconductor i/o a les característiques del transistor.

Si obrim el focus, a escala europea, la Unió Europea ha finançat diferents projectes per a la divulgació de la nanotecnologia entre els ciutadans. Destacar una proposta destinada a l'educació, en especial al professorat, recollit en un llibre anomenat «Nanotechnologies: Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities» [18]. Aquest llibre ha estat el fruit del projecte NanoYou [19] en el qual han participat els docents de 100 escoles de 20 països europeus durant l'any 2010 i 2011.

Cal destacar que és necessari un nivell mig-alt per poder seguir el seu contingut, així i tot, és una molt bona font per preparar material didàctic per a l'alumnat, ja que explica la teoria de diferents característiques de la nanotecnologia. Aquesta publicació està organitzada amb tres capítols principals, fonaments, aplicacions i experiments. Relacionats amb aquest treball, es troben apartats on s'expliquen propietats elèctriques, material semiconductor, mètodes de fabricació (tecnologia del semiconductor) i aplicacions en els circuits integrats i l'emmagatzematge de la informació.

L'últim capítol, el d'experiments, sí que està encarat als estudiants, és a dir, hi ha material didàctic. Hi ha quatre experiments: nanomaterials naturals, cristalls líquids, nano sensors d'or i materials hidrofòbics. Per tant, hi ha una mancança pel que fa a la tecnologia del semiconductor i/o el transistor. En cada un, hi ha una fitxa pel professor, una fitxa pels alumnes i una fitxa de laboratori. L'estructura de totes elles és clara i concisa, on és dona tota la informació necessària per dur a terme l'experiment, com el coneixement previ necessari.

A escala internacional, destacar el recurs, en format web, anomenat TRYEngineering [20], el qual està suportat, entre d'altres, per la prestigiosa associació d'enginyers IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [21] i l'empresa informàtica IBM [22]. A la web de TRYEngineering hi ha diferents recursos didàctics encarats a la divulgació de la enginyeria i les STEM en general. Referent a la nanotecnologia, hi ha sis activitats explicades i dissenyades per a ser dutes a terme a les aules. Aquestes estan relacionades a les superfícies hidrofòbiques, nano-partícules, la relació volum superfície, el microscopi de forces atòmiques per visualitzar el món nano i dues últimes relacionades a l'escala nanomètrica. Totes aquestes activitats són de lliure accés i tenen una fitxa pel professorat i una per l'alumne, on es descriu molt bé l'activitat a realitzar i la seva contextualització en la educació.

Finalment, una altra font de recursos és la xarxa d'educació NISE (National Informal STEM Education network) [23] formada per professorat i científics per promoure les competències STEM per els Estats Units d'Amèrica. Entre el seu material, hi ha un kit dedicat a la nanotecnologia anomenat *Explore Science: Zoom into Nano*. El qual es va distribuir per diferents escoles d'Amèrica, el material però, també està en format electrònic: fitxes, llista de material necessari per a realitzar l'experiment i vídeos explicatius [24] entre d'altres.

La filosofia de *Zoom into Nano* és que els alumnes aprenguin realitzant una activitat (Learning by doing). El material està estructurat amb 5 temes, estan aquests relacionats amb l'escala nanomètrica, propietats, eines, natura i la nano a les nostres vides. Part d'aquest material està redactat amb llengua castellana, a part de l'anglesa.

A la mateixa pàgina web de NISE hi ha un apartat dedicat a unes jornades anuals que fan dedicades a la nanociència, anomenades NanoDays (The Biggest Event for the Smallest Science!) on hi ha un seguit d'activitats i experiments relacionats amb la nanotecnologia.



5. Metodologia

Treballar de forma competencial, és a dir, crear, integrar i aplicar el coneixement de diferents àmbits és la base del currículum actual de l'educació secundària obligatòria.

L'alumne ha de ser el centre del seu propi aprenentatge. L'aprenentatge i el transmissor d'aquest (el professorat), ha de ser capaç de vincular i motivar l'alumnat, procurant que se senti partícip del fet d'aprendre. Un aprenentatge competencial es caracteritza per ser [27]:

- Transferible: continguts globals que permeten ser utilitzats en diferents contextos.
- Significatiu i permanent: aprendre conceptes clau que perdurin en el temps.
- Productiu: les activitats dinàmiques orientades a resoldre problemes, i no a seguir una recepta.
- Funcionals: han d'estar vinculats a contextos reals de la vida quotidiana.

L'aprenentatge basat en problemes (ABPs) és un exemple de metodologia didàctica activa, en la qual és possible transmetre el coneixement de forma afectiva i eficient. Així doncs, el material didàctic presentat en aquest treball s'ha dissenyat, en part, per a ser utilitzat amb aquest principi pedagògic. I per tant, pretén ser i ser utilitzat amb aquest sentit.

- Emmarcar el coneixement amb les necessitats del moment (raó de ser).
- Crític, actiu i donant una resposta sostenible.
- Treball *per* i *amb* la societat: Cooperatiu i col·laboratiu, al mateix temps que inclusiu i integrador.



6. Material didàctic

6.1. Descripció

Com s'ha vist, la nanotecnologia està més present a les nostres vides, del que un pot pensar/veure. Així doncs, és important poder donar uns coneixements, encara que aquests siguin bàsics, als alumnes preuniversitaris per tal d'apoderar-los amb les eines necessàries perquè siguin capaços d'enfrontar els reptes del present i el futur.

La nanociència és el conjunt de coneixements teòrics i tècnics que permeten entendre el comportament i les propietats dels materials, quan aquests, presenten una dimensió inferior als centenars de nanòmetres (1×10^6 vegades més petit que un mil·límetre). Algunes de les propietats més interessants que s'han descobert fins a l'actualitat són:

- Més petit → Més reactiu.
- Més petit → Més poder de penetració.
- Més petit → Més ràpid.
- Més petit → Més densitat d'emmagatzematge.

En aquest treball es focalitza amb els dos conceptes últims, és a dir, més ràpid i més densitat d'emmagatzematge a partir de l'estudi del transistor, com a dispositiu electrònic, i la tecnologia associada a aquest.

La tecnologia del semiconductor, ja fa anys que ha assolit escales nanomètriques, i està més que present a la nostra vida. A. García-Carmona i A.M. Criado [28] varen reportar un estudi sobre la introducció de la física del semiconductor a l'educació secundària. Conclouen que és factible introduir conceptes bàsics del semiconductor a adolescents de 12 – 14 anys, tot i que la dificultat de certs conceptes fa difícil un grau de comprensió correcta per l'alumnat. Tanmateix, apunten que aconseguir una dinàmica d'aprenentatge positiva (essent no fàcil, a més de requerir molt temps) és clau per adquirir el coneixement.

Així doncs, preparar material didàctic senzill i simple, reduint així la complexitat dels conceptes és clau per transferir els coneixements als alumnes. Al mateix temps, s'ha de procurar crear un material didàctic prou engrescador i motivador per l'alumnat. En aquest punt, vincular la teoria al món físic i a la vida quotidiana és clau per ajudar a enganxar l'alumnat. A les següents pàgines es descriuen un

seguit de recursos per tal d'ensenyar els alumnes de secundària conceptes bàsics, per així entendre i comprendre l'electrònica que els envolta.

Per altra banda, aquesta tecnologia pot ser estudiada i descrita per diferents àmbits curriculars, fent així una integració transversal de l'aprenentatge. Com també fomentar el coneixement i vocacions STEM entre els alumnes, òbviament entre noies i nois.

Finalment, mencionar l'estructura del material didàctic desenvolupat. Primer, es descriu des de la perspectiva del professor, per mostrar què es treballa i com es connecta amb el mapa curricular. Després, en els annexos es mostren les fitxes dels estudiants, per veure com es desenvolupen les activitats.

6.2. Avaluació

En el material didàctic desenvolupat en aquest treball no hi ha un apartat específic d'avaluació amb els resultats correctes i/o incorrectes, com tampoc rúbriques d'avaluació. El que es pretén, és que aquest sigui un material que el professorat de cada centre es pugui fer seu i pugui adaptar-lo, si ho creu necessari, a les seves necessitats. És per aquest motiu, que es donen unes petites indicacions del que s'espera de cada activitat i una guia de l'adequació curricular de cada proposta. Essent en tot moment uns suggeriments, i per tant, poden ser adaptats i modulats a les necessitats de l'aula.

Tanmateix, hi ha la possibilitat d'avaluar àmbits transversals, com ara les competències digitals i/o socials. Les quals tampoc han estat incloses, no només per òbvies, sinó també, perquè cada centre i/o professorat pugui decidir que necessita avaluar als seus alumnes.

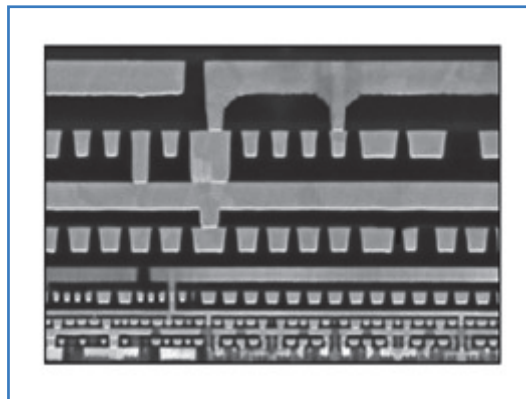
El mateix criteri s'ha seguit amb la formació de grups. En les activitats es comenta la importància i la necessitat de realitzar activitats en grup, com també compartir les solucions trobades i participar en debats de classe. Així i tot, s'ha deixat a càrrec de cada professor (futur professor que vulgui utilitzar aquest material) la metodologia grupal, és a dir com formar els grups: per nivell educatiu, afinitat, nois/noies, etc. Cada classe té les seves pròpies dinàmiques, i no hi ha ningú com el professor, que les viu el dia a dia, per decidir quina associació és millor per desenvolupar l'activitat correctament, o quina fomentarà una millor cohesió i treball col·laboratiu.



6.3. Proposta 1 (Nanolitografia)

Introducció

La tecnologia de fabricació del semiconductor és la base del desenvolupament de l'electrònica. Com aconseguixen els enginyers transferir un "dibuix" al semiconductor per poder fer les estructures desitjades? La litografia, procés emprat en altres camps, com ara la impressió, també s'utilitza a la indústria microelectrònica per transferir els patrons del paper al semiconductor.



La figura mostra la tecnologia desenvolupada per l'empresa *Intel Corporation*, capaç de fabricar transistors de 14 nm de canal¹.

Etapa escolar

Alumnes de 3r - 4t de l'ESO

Objectius

L'objectiu principal és que tot alumne sigui capaç de resoldre problemes aplicant coneixements científics i processos tecnològics.

1. Entendre i explicar els processos tecnològics relacionats amb la tecnologia del semiconductor.
2. Entendre i explicar el concepte de litografia.
3. Aprendre sobre el treball en equip i la solució de problemes.

Informació complementària

YouTube: <https://youtu.be/PWV9pvdRBNY>.

Document (capítol 7): NANOTECHNOLOGIES Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities, *A compendium for educators* (doi:10.2777/76945).

¹ S. Natarajan et al., "A 14nm logic technology featuring 2nd-generation FinFET, air-gapped interconnects, self-aligned double patterning and a 0.0588 μm^2 SRAM cell size," 2014 IEEE International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, 2014, p. 3.7.1-3.7.3, doi: 10.1109/IEDM.2014.7046976.

Relació a la vida quotidiana

La paraula litografia òptica, *photolithography* amb anglès, prové del Grec *photo* «llum», *litho* “pedra” i *graphy* “escriptura”. Així doncs, és un procés que utilitza la llum per gravar un dibuix i/o patró sobre una superfície. Aquesta tecnologia data de l’any 1820, tot i la seva antiguitat actualment és àmpliament utilitzada a la tecnologia del semiconductor, a més a més ja fa anys que ha assolit escales nanomètriques.

Tots els dispositius electrònics que ens envolten avui en dia no serien possible sense aquest descobriment, ja que per ser fabricats s'utilitzen desenes de processos litogràfics.

Problema plantejat

Transferir un dibuix/patró a una superfície s'utilitza constantment a la indústria, des de l'estampació de samarretes fins als motlles industrials utilitzats per donar forma a les peces de plàstic. En tot ells, l'objectiu final és el mateix: «dibuixar» la superfície d'un material.

Els dispositius nanotecnològics, com la indústria electrònica, també tenen aquesta necessitat. Com s'ho fan per transmetre un patró per així poder dibuixar un transistor al substrat semiconductor?

Motiu de les activitats i orientacions pel professorat

Activitat 1

Amb aquesta activitat s'intenta introduir l'alumnat amb el procés fotolitogràfic. Per fer-ho, es demana a l'alumnat que utilitzi el procés tecnològic (Requeriment, Recerca, Selecció, Realització i Verificació) per transferir un dibuix a una superfície.

En aquest procés no s'utilitzarà ni resina ni llum, així doncs no és un procés fotolitogràfic, així i tot és possible trobar-hi similituds, descrites a continuació. A més, és un bon exercici per fomentar el treball en grup i apropar l'alumnat a la resolució de problemes tal com els enginyers i científics fan en el seu dia a dia.

- Es tracta que els alumnes utilitzin la cinta adhesiva com a capa protectora, fent un símil de la funció que realitza la resina.
- Amb les tisores es retalla una estrella a la cinta adhesiva i s'enganxa aquesta al paper, fent un símil de la funció que realitza la llum i el revelat a la resina.

- Tot seguit amb un tros de cotó impregnat amb tinta es pinta tota la superfície, fent un símil amb el processament del substrat: dipositar una capa.
- Finalment es retira la cinta adhesiva i s'obté, ben definit, el motiu que es volia transferir al substrat, fent un símil a l'últim procés fotolitogràfic (lift-off). La imatge mostra, com a exemple, un possible resultat final.



És important, al final de l'activitat, que cada grup exposi a la resta de classe la seva solució aportada, per així fomentar la participació i el debat amb els seus companys.

Finalment, es recomana visualitzar un vídeo que relaciona l'activitat que s'acaba de fer a classe a un procés real de nanolitografia anomenat lift-off.

- Vídeo del procés esquemàtic: <https://youtu.be/Uvna9vegECs>.
- Vídeo del procés real: <https://youtu.be/76xAOzQwhGM>.

Activitat 2

Amb aquesta activitat és dona a conèixer a l'alumnat el fenomen químic que succeeix a la resina per així ser eliminada del substrat selectivament. És a dir, que la resina que ha estat exposada sigui atacada i la resta de resina no.

Es pretén doncs, que els alumnes desenvolupin un mapa conceptual del procés fotolitogràfic: posar resina al substrat, exposar-la mitjançant una font de llum UV i una màscara per transferir el dibuix, revelar, processar el substrat (atacar la superfície o dipositar un material) i finalment, eliminar la resina restant. Indicant també quina és la reacció química de la resina quan és exposada a la llum UV: identificar els àtoms de la molècula fotosensible i descriure l'equació química del procés. Com a suport complementari, es poden consultar la font següent:

- Document del Dr. Alan Doolittle, Georgia Institute of Technology: <http://alan.ece.gatech.edu/ECE6450/Lectures/ECE6450L8-Photore-sists%20and%20Nonoptical%20Lithography.pdf>.

Activitat 3

En aquesta tercera activitat es donen a conèixer algunes de les limitacions de la fotolitografia aplicada a escala nanomètrica: la difracció òptica. Quan els motius que es volen transferir al substrat tenen dimensions comparables a la longitud d'ona que s'utilitza per il·luminar la resina apareixen aberracions òptiques, la difracció és una d'aquestes. Aquest fenomen provoca una variació de la forma projectada, com també de les dimensions d'aquesta.

Una primera activitat és observar i debatre amb els companys de grup i/o classe aquest fenomen mitjançant un simulador web. El qual permet veure que succeeix quan la llum impacta amb una paret, la qual té una obertura, fent un símil del que succeeix amb el procés fotolitogràfic quan la llum impacta amb la màscara.

Un cop vist aquest fenomen, i comprés la importància que té la longitud d'ona per obtenir motius nanomètrics, una segona activitat és que, en grup, realitzin una cerca de la tecnologia utilitzada en el camp de la nanolitografia: font de llum, longitud d'ona d'aquesta. Com també, calcular el límit de resolució en funció de la fórmula donada.

Activitat 4 (a més a més)

Finalment, com a última activitat es donen a conèixer alternatives a la fotolitografia per aproximar, encara més, les escales nanomètriques i atòmiques a la tecnologia dels semiconductors. En concret la tècnica de Scanning Probe Microscopy (SPM), la qual no només s'utilitza per «visualitzar» les escales nanomètriques, sinó que també s'ha utilitzat per moure àtoms. En concret, la tècnica utilitzada és una evolució de l'SPM, en la qual s'aprofita l'efecte túnel, fenomen quàntic que succeeix a escala nanomètrica, en el següent vídeo es descriu el seu funcionament:

- Scanning Tunneling Microscopy: <https://youtu.be/K64Tv2mK5h4>.

A part de les lectures que tenen els estudiants a la seva fitxa, pot ser engrescant i motivador mostrar-los a classe un vídeo fet per IBM. Aquest, sustenta el record a la pel·lícula més petita del món, al Guinness World Records™. No és d'estranyar, ja que aquesta està feta per pocs àtoms:

- A bon and his Atom: <https://youtu.be/oSCX78-8-q0>.



Adequació curricular

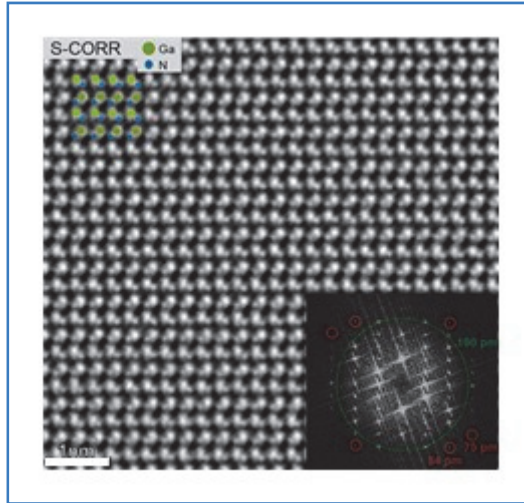
Àmbit	Bloc Curricular	Contingut Curricular	Activitat
Tecnologia 3r ESO.	El procés tecnològic.	Planificació completa del procés tecnològic.	1, 2 i 4
	Les comunicacions.	L'electrònica i l'evolució de les comunicacions.	1 i 4
Física i Química 3r ESO	Investigació i experimentació.	Fases d'una investigació. Plantejament de preguntes i identificació dels models científics teòrics.	1, 2 i 3
	La matèria a l'Univers.	Taula periòdica dels elements. Estructura de l'àtom. Enllaços entre àtoms.	2 i 4
	Les reaccions químiques.	Canvis químics i físics	2
Física i Química 4t ESO (optativa).	Investigació i experimentació	Teories i fets científics.	2 i 3
	La matèria: propietats i estructura.	Taula periòdica	2
	L'energia	Les ones. Descripció de la llum visible. L'espectre electromagnètic.	3
	Els canvis.	Interpretació molecular i representació d'una reacció química. Velocitat de reacció i factors relacionats.	2
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 3r ESO	Numeració i càlcul (Nombres grans i nombres petits).	Significat en contextos diversos. Representació gràfica i simbòlica (notació científica).	3 i 4
	Espai i forma (proporcionalitat i semblança)	Ampliacions i reduccions.	2 i 3
	Canvi i relacions (Equacions de 1r i 2n grau i sistemes d'equacions de 1r grau)	Regles de càlcul. Resolució d'equacions. Ús de les equacions i els sistemes per a la resolució de problemes en contextos diversos.	3
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 4t ESO	Espai i forma (trigonometria)	Raons trigonomètriques. Ús de la trigonometria per a la resolució de problemes en contextos diversos.	3
Llengües Estrangeres 3r i 4t ESO	Dimensió comprensió lectora	Comprensió escrita: global, literal i interpretativa. Reconeixement del tipus de text, escrit o multimèdia, el tema, idea principal i idees secundàries.	2, 3 i 4

6.4. Proposta 2 (Semiconductor)

Introducció

Els materials poden ser classificats segons la seva conducció elèctrica, així doncs hi ha materials conductors, com ara els metalls (no suposen un impediment al pas dels electrons) i materials aïllants, com el vidre (suposen una barreira al pas d'electrons). Amb aquesta classificació també hi ha una sèrie de materials anomenats semiconductors, els quals són la base de l'electrònica.

Les propietats elèctriques dels semiconductors poden ser modulades mitjançant la tècnica de dopat. Com aconseguixen els enginyers dopar el semiconductor perquè sigui més o menys conductor? La figura mostra una imatge d'alta resolució ($< 1 \text{ nm}$) d'un semiconductor mitjançant la tècnica *Transmission Electron Microscope*. Amb aquesta tècnica els científics són capassos d'observar els àtoms, en aquest cas de Gal·li i Nitrogen².



Etapas escolar

Alumnes de 3r - 4t de l'ESO

Objectius

L'objectiu principal és que tot alumne sigui capaç de resoldre problemes aplicant coneixements científics i processos tecnològics.

1. Entendre i explicar els processos tecnològics relacionats amb la tecnologia del semiconductor.
2. Entendre i explicar el concepte de semiconductor.
3. Relacionar el concepte de dopat amb resistivitat d'un semiconductor
4. Aprendre sobre el treball en equip i la solució de problemes.

² Thermo Fisher Scientific Company. Themis Z Transmission Electron Microscope (TEM) imatge of Gallium nitride (GaN) semiconductor material. Web: <https://www.fei.com/products/tem/themis-z-for-materials-science/>.



Informació complementària

YouTube (Tutorial sobre el dopatge del MIT): <https://youtu.be/k12GMjtN8aA>.

Document (Semiconductor): Enciclopèdia Catalana, Grup Enciclopèdia. Enllaç web: <https://www.enciclopedia.cat/ec-gec-0141655.xml>.

Document (capítol 6, Nano-electrónica: del silicio a la moléculas): NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. ISBN 978-84-691-7266-7.

Relació a la vida quotidiana

Des de sempre s'ha modificat les propietats d'un material perquè actuï d'una determinada manera. En el cas dels metalls, aquesta tècnica s'anomena aliatge i permet modificar les propietats del metall pur. La mescla homogènia d'un metall amb un altre element, normalment un altre metall, provoca que el material resultant tingui unes propietats diferents de la dels dos elements purs per separat. Així doncs, l'aliatge s'utilitza per millorar la resistència mecànica, la duresa i/o la resistència a la corrosió, entre d'altres.

Amb els semiconductors, aquest procés és anomenat dopat. Mitjançant la introducció d'impureses al semiconductor, és possible modificar la seva resistència (oposició al pas d'electrons), obtenint així un material més o menys conductor. Tots els dispositius electrònics que ens envolten avui en dia no serien possible sense aquest procés tecnològic.

Problema plantejat

Quin és el paràmetre que podem variar en una canonada d'aigua si desitgem augmentar el cabal (considerant una pressió d'aigua constant)?

Quin és el paràmetre que podem variar en una carretera si desitgem augmentar el nombre de cotxes que hi poden circular simultàniament?

Quin és el paràmetre que podem variar en un cable elèctric de coure si desitgem augmentar el corrent elèctric (nombre d'electrons)?

Aquest paràmetre, també és vàlid si el que es desitja és augmentar el corrent elèctric en un semiconductor. No és cap altre que augmentar la seva secció. En els semiconductors, però, hi ha un altre paràmetre per poder augmentar el corrent elèctric, és a dir disminuir la resistència, quin és?

Motiu de les activitats i orientacions pel professorat

Activitat 1

Amb aquesta activitat s'intenta fer comprendre a l'alumnat les variables que podem modificar per així variar la conductivitat dels materials, tant dels conductors com dels semiconductors. Per fer-ho Es tracta que l'alumnat, en grup, realitzi dos exercicis.

Primera part: s'observarà com afecta la geometria del conductor/semiconductor amb la seva conductivitat (resistència), especialment la seva secció (àrea). Aquest exercici es pot realitzar mitjançant l'ordenació de dibuixos (tal com mostra la fitxa de l'alumne) o portant a classe quatre o cinc canonades de diàmetre diferent, un embut i una gerra amb sorra, tal com s'observa al vídeo de QuèQuiCom (vegeu fitxa de l'alumne). Finalment, amb el simulador proposat (PhET™), és possible relacionar la geometria amb la resistència, i per tant utilitzant la llei d'ohm ($V = I \cdot R$) amb el corrent (flux d'electrons).

Segona part: es pretén que l'alumne sigui capaç de relacionar i interioritzar una de les possibles formes per generar electrons lliures. Quant mesurem amb un multímetre la resistència d'un torç de silici cristal·lí obtenim un valor, aquest varia (disminueix) si s'escalfa la mostra (per exemple amb un assecador de cabells). L'augment de temperatura, causa un augmenta en el nombre d'electrons lliures i per tant una disminució de la resistència.

Una altra possibilitat per augmentar els electrons lliures és dopar el semiconductor (es veurà a la següent activitat) o bé il·luminar el semiconductor (fenomen que utilitzen les cèl·lules fotovoltaïques).

És important, al final de l'activitat, que cada grup exposi a la resta de classe les seves conclusions, per així fomentar la participació i el debat amb els seus companys.

Activitat 2

Amb aquesta activitat es pretén introduir l'alumnat al material semiconductor. Per fer-ho, s'estudiarà el semiconductor més utilitzat, el silici cristal·lí (c-Si). S'utilitzarà la taula periòdica per estudiar tant l'àtom de silici, com els típicament utilitzats per dopar el c-Si, és a dir l'àtom de bor i l'àtom de fòsfor.



També s'estudiarà l'estructura cristal·lina del silici, així doncs l'alumnat haurà d'utilitzar conceptes apresos a classe de Física i Química tals com els enllaços que es formen en materials no metàl·lics. Finalment, l'alumnat haurà d'interpretar com afecta la propietat elèctrica el fet d'introduir impureses dopants a l'estructura cristal·lina.

Activitat 3

Amb aquesta activitat es pretén introduir el microscopi d'electrons a l'alumnat, el qual és molt utilitzat pels enginyers i científics per poder veure-hi a escala nanomètrica.

Es tracte que en grups realitzin una infografia sobre el seu funcionament. Per poder-la fer utilitzaran un simulador web (vegeu fitxa estudiant), el qual és de lliure accés i sense necessitat de registrar-se.

El simulador ha estat creat en part, per un dels principals fabricants de microscopis, ThermoFisher Scientific. A part del simulador, també tenen una base fotogràfica amb imatges de «coses» nanomètriques, la qual pot ajudar a captivar i motivar l'alumnat.

- Base fotogràfica: <https://www.fei.com/image-gallery/>.

Activitat 4 (a més a més)

Finalment, com a última activitat es pretén fer conèixer algunes de les limitacions a l'hora d'utilitzar el silici dopat com a semiconductor a la indústria electrònica. Quan les dimensions del que volem construir són nanomètriques es pot donar el cas que la relació entre àtoms de silici i àtoms dopants no sigui la més idònia, i per tant no es comporti com desitgem. Típicament 10 àtoms dopants per cada 100 milions d'àtoms de silici.

Per altra banda, si mantenim la relació desitjada i reduïm les dimensions, llavors hi haurà un moment on no hi haurà àtoms dopants, i per tant no hi haurà portadors lliures!!

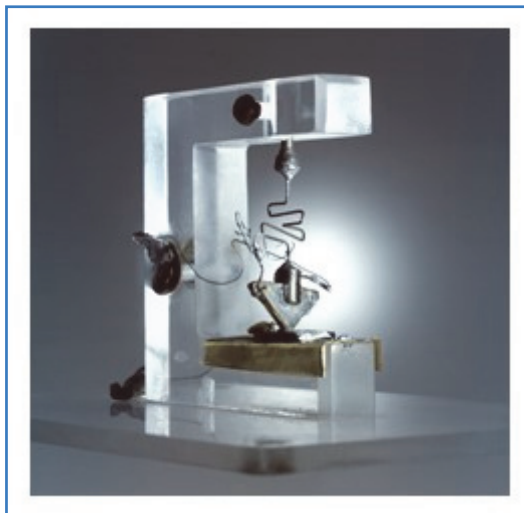
Adequació curricular

Àmbit	Bloc Curricular	Contingut Curricular	Activitat
Tecnologia 3r ESO.	El procés tecnològic.	Planificació completa del procés tecnològic.	1 i 3
	Les comunicacions.	L'electrònica i l'evolució de les comunicacions.	1 i 3
Tecnologia 4t ESO (optativa).	Electrònica, pneumàtica i hidràulica.	Circuits electrònics analògics i digitals senzills.	1
Física i Química 3r ESO	Investigació i experimentació.	Fases d'una investigació. Plantejament de preguntes i identificació dels models científics teòrics.	1, 2 i 4
	La matèria a l'Univers.	Taula periòdica dels elements. Estructura de l'àtom. Enllaços entre àtoms.	2, 3 i 4
	Les forces i el moviment	Forces de la natura. Propietats elèctriques de la matèria.	1, 2 i 4
	L'energia i els canvis	Circuit elèctric tancat: transport d'energia, cicle d'electrons, diferència de potencial i intensitat.	1, 2 i 4
Física i Química 4t ESO (optativa).	La matèria: propietats i estructura.	Propietats de substàncies. Relacions entre l'organització dels elements en la taula periòdica i la seva estructura.	1, 2 i 4
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 3r ESO	Numeració i càlcul (Nombres grans i nombres petits).	Significat en contextos diversos. Representació gràfica i simbòlica (notació científica).	3 i 4
	Espai i forma (proporcionalitat i semblança)	Ampliacions i reduccions.	3 i 4
	Canvi i relacions (Equacions de 1r i 2n grau i sistemes d'equacions de 1r grau)	Regles de càlcul. Resolució d'equacions. Ús de les equacions i els sistemes per a la resolució de problemes en contextos diversos.	1, 2 i 4
	Mesura (mesures indirectes)	Estimació. Precisió, exactitud i error.	4
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 4t ESO	Canvi i relacions (funció quadràtica, exponencial i logarítmica)	Funcions inverses. Ús de funcions per a la resolució de problemes en contextos diversos.	4
	Mesura (mesures indirectes)	Unitats de mesura. Precisió, exactitud i error. Resolució de problemes relatius a mesures indirectes.	1 i 4
Llengües Estrangeres 3r i 4t ESO	Dimensió comprensió lectora	Comprensió escrita: global, literal i interpretativa. Reconeixement del tipus de text, escrit o multimèdia, el tema, idea principal i idees secundàries.	1 i 3

6.5. Proposta 3 (Nanotranistors)

Introducció

El transistor és un dels dispositius clau per entendre la revolució tecnològica del segle XX, la irrupció de la tecnologia del semiconductor. L'electrònica ha permès evolucionar les comunicacions a punts inimaginables uns anys enrere, essent imprescindible a la nostra vida quotidiana amb multituds de dispositius, sense els quals no sabríem viure. Així doncs, és important dotar a l'alumnat amb coneixements bàsics sobre



que és un transistor, quines són les seves propietats, que succeeix quan treballen conjuntament en un circuit integrat i com la nanotecnologia ha permès evolucionar-los. La figura mostra el primer transistor fabricat, el qual va ser inventat el 1947 als laboratoris Bell³.

Etapla escolar

Alumnes de 3r - 4t de l'ESO

Objectius

L'objectiu principal és que tot alumne sigui capaç de resoldre problemes aplicant coneixements científics i processos tecnològics.

1. Entendre i explicar el funcionament bàsic d'un transistor MOSFET (acrònim de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).
2. Entendre i explicar el concepte de circuit integrat.
3. Comprendre la importància del transistor en l'evolució de la tecnologia.
4. Aprendre sobre el treball en equip i la solució de problemes.

³ In 1956, the Nobel Prize in Physics was awarded jointly to William Bradford Shockley, John Bardeen and Walter Houser Brattain "for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect." Web: <https://www.bell-labs.com/timeline/#/2010/1/closed/>.

Informació complementària

YouTube: <https://youtu.be/9JKj-wlEPMY> i <https://youtu.be/-PrIvMBGEd8>.

Document (Capítol 6): NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro, FECYT (ISBN: 978-84-691-7266-7).

Document (Capítol 4: Nanotecnología: La revolución de lo chiquito): Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria. Programa iberoamericano CYTED y red nanoDYF (ISBN-13 978-84-15413-33-2).

Document (Capítol 3: History of nanotechnologies. Capítol 4: Information and Communication Technologies): NANOTECHNOLOGIES Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities, *A compendium for educators* (doi:10.2777/76945).

Relació a la vida quotidiana

El nom de transistor i el seu principi bàsic de funcionament hauria de ser conegut per tot alumne i/o ciutadà. En l'actualitat tots nosaltres utilitzem diàriament, si tenim en compte que tothom té un telèfon mòbil, milions de transistors.

Per altra banda, tots els equips electrònics que ens envolten avui en dia, des dels més simples com una alarma o petits electrodomèstics, fins a més complexes com cotxes i maquinària industrial, no serien possible sense aquest petit dispositiu, el transistor.

Problema plantejat

És possible dissenyar/construir un interruptor el qual no estigui accionat mitjançant l'accionament mecànic? És possible, a més que es pugui controlar el seu estat, és a dir obert o tancat mitjançant un impuls elèctric (tensió i/o corrent)?

Aquests interruptors existeixen, de fet varen revolucionar la indústria del segle passat, però com són, quines propietats tenen? La nanotecnologia ha jugat un paper clau en el seu desenvolupament, des que es va inventar el primer transistor als laboratoris Bell dels Estats Units d'Amèrica, permeten integrar cada cop més transistors (nanotransistors) en un circuit integrat, com ha sigut possible?

Motiu de les activitats i orientacions pel professorat

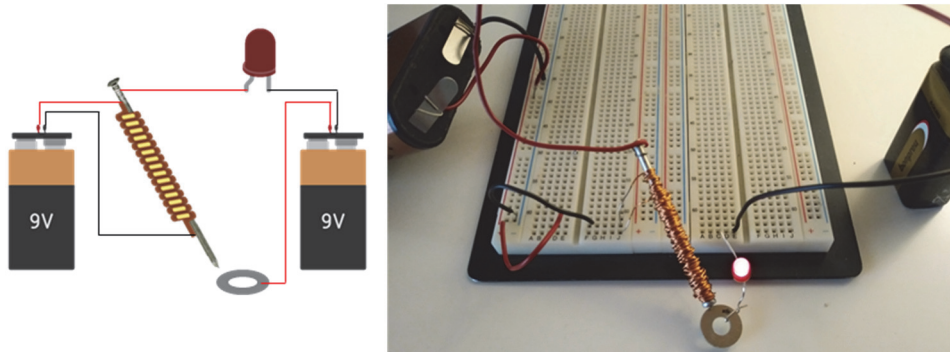
Activitat 1

Amb aquesta activitat s'intenta que l'alumnat compregui el principi bàsic de funcionament d'un transistor MOSFET. Per fer-ho, es demana a l'alumnat que utilitzi el procés tecnològic (Requeriment, Recerca, Selecció, Realització i Verificació) per realitzar un electroimant com a interruptor.

Es tracta que l'alumne, en grup, construeixi i reflexioni sobre les propietats elèctriques i magnètiques del corrent elèctric. A més, és un bon exercici per fomentar el treball en grup i apropar l'alumnat a la resolució de problemes tal com els enginyers i científics fan en el seu dia a dia.

- Els alumnes han d'utilitzar les propietats magnètiques del corrent quan circula per una espiral per fabricar un electroimant i utilitzar aquest com a interruptor en un circuit senzill (una pila i un LED).
- El següent vídeo mostra com fabricar l'electroimant. La figura especifica el muntatge elèctric i una foto del muntatge final esperat.

YouTube (Cómo hacer un electroimant): <https://youtu.be/h9orP1tx9zM>.



És important, al final de l'activitat, que cada grup exposi a la resta de classe la seva solució aportada, per així fomentar la participació i el debat amb els seus companys.

Activitat 2

Amb aquesta activitat es dona a conèixer la relació entre la força electromagnètica i el transistor MOSFET. Es pretén que els alumnes utilitzin un seguit de simuladors web, sobre les càrregues elèctriques i com s'atrauen i/o repelen entre elles, per comprendre aquest concepte i que realitzin una petita presentació relacionant ambdós conceptes, el de càrrega elèctrica i el transistor MOSFET, en concret el terminal de Porta i com es crea el canal.

Activitat 3

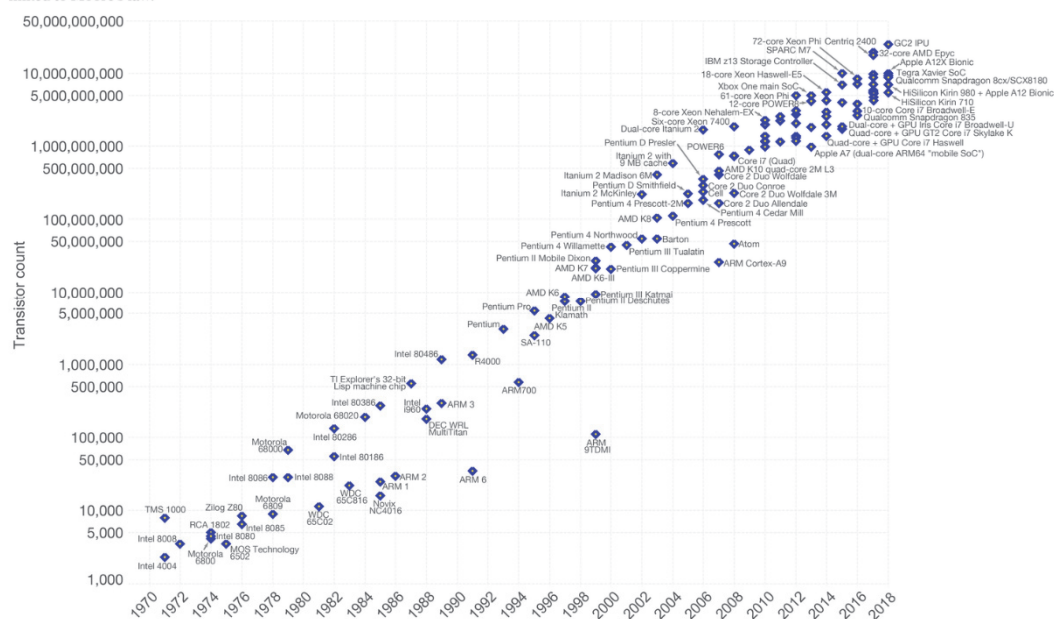
En aquesta tercera activitat es dona a conèixer alguns dels dispositius que es poden obtenir gràcies a fer treballar els transistors en xarxa. En concret es focalitza amb l'obtenció de bits de memòria, la visualització del vídeo del programa de TV3 QueQuiCom (vegeu fulla de l'estudiant), ajudarà a comprendre el concepte.

Tanmateix s'introdueix l'alumnat amb el concepte de circuit integrat, que no és altre que un circuit on hi ha diferents dispositius, majoritàriament transistors. En l'actualitat aquests transistors tenen escales nanomètriques i per tant, és possible integrar milions de transistors amb un únic circuit integrat, els quals tenen mides tan petites com grans d'arròs.

Es pretén doncs que realitzin, amb un full de càlcul (Google Sheets, Excel, OpenOffice Calc, etc.), la representació gràfica de la llei de Moore (vegeu següent figura). D'aquesta manera es desitja que interioritzin el concepte de circuit integrat tot buscant l'evolució de la densitat de transistors per xip. A més de treballar conceptes gràfics i matemàtics com l'escala lineal i l'escala logarítmica.

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important as other aspects of technological progress – such as processing speed or the price of electronic products – are linked to Moore's law.



The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org/transistor-count). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under [CC-BY-SA](#) by the author Max Roser.

Figura. Moore's law is the observation that the number of transistors in a dense integrated circuit doubles about every two years. Imatge extreta de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law.



Activitat 4

En aquesta quarta activitat es donen a conèixer algunes de les limitacions de la integració de transistors en els circuits integrats. Quan es desitja fer transistors molt petits, a escala nanomètrica, no només apareixen dificultats tecnològiques, sinó també fenòmens quàntics com ara l'efecte túnel, on les càrregues travessen barreres energètiques i per tant, els aïllants deixen d'aïllar.

Una altra conseqüència de treballar amb nanotransistors és que els corrents elèctrics de treball són molt petits, de fet aquest és un dels avantatges: el consum disminueix a mesura que reduïm la mida dels transistors. Així i tot, no és tot positiu, ja que els corrents elèctrics de fuga (no desitjats), que sempre estan presents en els transistors, a escala nanomètrica, tenen valors molt més propers en els corrents de treball, i per tant ja no es poden obviar.

Es pretén doncs, a través d'enfrontar l'alumnat a problemes reals, conscienciar-los i dotar-los d'estratègies per poder superar aquestes limitacions. En concret desenvoluparan un transistor FinFET, els quals han estat dissenyats per esquivar limitacions derivades de la miniaturització.

Activitat 5 (a més a més)

Finalment, com a última activitat es donen a conèixer com la indústria electrònica i la del semiconductor han desenvolupat la tecnologia per poder fabricar nanotransistors, i així integrar cada com més transistors en un xip.

Els alumnes realitzaran una recerca per internet per veure com han evolucionat els transistors, des de la seva invenció fins als nanotransistors de l'actualitat. La idea és que plasmin en una línia temporal la història del transistor, d'aquesta manera observaran com els enginyers i científics han sigut capaços de fer cada vegada més petits els transistors.

Adequació curricular

Àmbit	Bloc Curricular	Contingut Curricular	Activitat
Tecnologia 3r ESO.	El procés tecnològic.	Planificació completa del procés tecnològic.	1, 4 i 5
	Les comunicacions.	L'electrònica i l'evolució de les comunicacions.	3 i 5
Tecnologia 4t ESO (optativa).	Electrònica, pneumàtica i hidràulica.	Circuits electrònics analògics i digitals senzills.	1, 2 i 4
Física i Química 3r ESO	Investigació i experimentació.	Fases d'una investigació. Plantejament de preguntes i identificació dels models científics teòrics.	1, 2 i 4
	Les forces i el moviment	Forces de la natura. La força gravitatòria, les forces elèctriques i magnètiques. Propietats elèctriques de la matèria. Fenòmens magnètics.	1 i 2
	L'energia i els canvis	Circuit elèctric tancat. Llei d'Ohm.	1, 2 i 4
Física i Química 4t ESO (optativa).	Investigació i experimentació	Projecte d'investigació	1 i 4
	La matèria: propietats i estructura.	Propietats de substàncies.	2 i 4
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 3r ESO	Numeració i càlcul (Nombres grans i nombres petits).	Significat en contextos diversos. Representació gràfica i simbòlica (notació científica).	2, 3, 4 i 5
	Espai i forma (proporcionalitat i semblança)	Ampliacions i reduccions.	3 i 4
	Canvi i relacions (Equacions de 1r i 2n grau i sistemes d'equacions de 1r grau)	Regles de càlcul. Resolució d'equacions. Ús de les equacions i els sistemes per a la resolució de problemes en contextos diversos.	2 i 4
Matemàtiques acadèmiques-aplicades 4t ESO	Mesura (mesures indirectes)	Semblança i trigonometria. Unitats de mesura.	2 i 4
	Canvi i relacions (funció quadràtica, exponencial i logarítmica)	Funcions inverses. Ús de funcions per a la resolució de problemes en contextos diversos.	3
Llengües Estrangeres 3r i 4t ESO	Dimensió comprensió lectora	Comprensió escrita: global, literal i interpretativa. Reconeixement del tipus de text, escrit o multimèdia, el tema, idea principal i idees secundàries.	2, 3 i 5



7. Conclusions i Treball futur

S'ha observat una mancança de material didàctic per poder ensenyar als alumnes d'ESO conceptes sobre la nanotecnologia aplicada a la tecnologia electrònica. Essent cada vegada més important el seu coneixement, encara que bàsic en aquesta etapa de l'escolarització, a causa de la importància creixent que té l'electrònica en múltiples àmbits de la societat.

Tanmateix, l'ensenyament de la nanotecnologia pot ser molt útil per vincular diferents àmbits i continguts curriculars, per així fomentar competències i/o vocacions STEM entre l'alumnat, essent aquest un dels objectius no només a escala nacional, sinó també europeu. En aquest sentit, el material didàctic presentat en aquest treball ha estat dissenyat per integrar diferents coneixements. En concret s'han desenvolupat tres propostes, les quals tenen com a fil conductor la nanotecnologia aplicada a l'electrònica. En cada una de les propostes s'ha intentat, a més a més, que l'alumne utilitzi diferents recursos d'aprenentatge, com ara la realització d'experiments, simulacions, resolució de problemes plantejats, debats, exposicions, etc. En concret, les propostes estan relacionades amb els següents conceptes: el procés litogràfic, el material semiconductor i el transistor (dispositiu electrònic).

Per altra banda, a causa de l'estat generalitzat de confinament per causa de la COVID-19 s'ha posat en evidència la importància i/o necessitat de poder impartir classes en línia. En aquest sentit, les propostes presentades poden ser dutes a terme per cada alumne a casa, si no la seva totalitat, si en part. Tot i que aquesta no és l'opció preferent, ja que a aquesta edat és molt important fomentar el treball en grup, com també el conflicte, entenent-lo com a debat i discussió d'idees, plantejaments i solucions. Aquest, encara que poden ser duts a terme telemàticament, són molt més profitosos si es poden generar a l'aula.

Finalment, destacar la dificultat que suposa ensenyar un contingut complex com aquest a alumnes d'ESO. L'enginyeria i la física que hi ha darrere d'algun dels conceptes desenvolupats en aquest treball no és gens fàcil, i menys fer una simplificació perquè sigui comprensible, útil i motivador pels alumnes. Així i tot, aquest ha sigut un dels reptes en el desenvolupament d'aquesta proposta. La utilització de simulacions ha sigut una font d'inspiració i ajuda per poder aconseguir, en part, l'èxit en aquest punt. Així doncs, es donen com assolits els objectius marcats a l'inici del treball, és a dir fomentar competències STEM des d'un punt de vista científicotecnològic a l'alumnat d'ESO mitjançant la nanotecnologia.

Com a treball futur, estaria bé desenvolupar més propostes que ajudin a complementar les que s'han fet en aquest treball. La tecnologia del semiconductor és una font immillorable de recursos STEM.

Un altre punt interessant és estudiar el currículum actual per observar si seria factible introduir alguna variació en ell, per així poder introduir algun dels conceptes desenvolupats en aquest treball. En l'actualitat molts centres educatius estan apostant per l'ensenyament de l'electrònica, inclús en etapes escolars prèvies de l'ESO, i per tant tenir una regulació no només ajudaria al professorat, sinó que també repercutiria positivament en l'alumnat.

Finalment, m'agradaria poder utilitzar aquest material didàctic en algun centre educatiu, per així poder observar les seves forteses, però sobretot les seves mancances i poder fer-l'hi les correccions oportunes. En aquest sentit, també seria interessant gravar vídeos per explicar alguna de les activitats proposades, facilitant d'aquesta manera la comprensió de part del material.



8. Referències

- [1] M. C. Roco, C. A. Mirkin, and M. C. Hersam, "Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: Summary of international study," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 13, no. 3. Springer, pp. 897–919, 17-Mar-2011.
- [2] D. F. Emerich and C. G. Thanos, "Nanotechnology and medicine," *Expert Opinion on Biological Therapy*, vol. 3, no. 4. Taylor & Francis, pp. 655–663, Jul-2003.
- [3] S. Raj, S. Jose, U. S. Sumod, and M. Sabitha, "Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges," *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, vol. 4, no. 3. Wolters Kluwer -- Medknow Publications, pp. 186–193, Jul-2012.
- [4] M. Nasrollahzadeh, S. M. Sajadi, M. Sajjadi, and Z. Issaabadi, "Applications of Nanotechnology in Daily Life," in *Interface Science and Technology*, vol. 28, Elsevier B.V., 2019, pp. 113–143.
- [5] D. de la Presidència, "ACORD GOV/125/2019, de 17 de setembre, pel qual s'aprova el Pla STEMca," 2019.
- [6] Generalitat de Catalunya, "Pla STEMcat." pp. 1–72, 2017.
- [7] EXPERT GROUP ON SCIENCE EDUCATION, *SCIENC EDUCATION for Responsible Citizenship*. 2015.
- [8] Generalitat de Catalunya, "Programa STEAMcat.," *XTEC - Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya*, 2018. [Online]. Available: <https://projectes.xtec.cat/steamcat/>. [Accessed: 29-Mar-2020].
- [9] "cesire* | Suport a la Innovació i la Recerca Educativa." [Online]. Available: <https://agora.xtec.cat/cesire/>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [10] "NanoEduca - La nanociència i la nanotecnologia entren a l'aula." [Online]. Available: <http://nanoeduca.cat/ca/inici/>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [11] "Premi Nacional de Recerca." [Online]. Available: <https://premisnacionalsrecerca.fundaciorecerca.cat/frontend/>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [12] "Nanokit 2.0." [Online]. Available: https://agora.xtec.cat/cesire/wp-content/uploads/usu397/2017/03/Inventario_final_Nanokit.pdf. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [13] "NanoEduca - YouTube." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/channel/UCnQpEEQ2SLxOwiM57tkHjg>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [14] "Inici - EduCaixa." [Online]. Available: <https://www.educaixa.com/ca/home>. [Accessed: 07-Apr-2020].
- [15] "Programa educatiu per al desenvolupament de la competència científica."
- [16] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, *Nanociencia y nanotecnología: Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. 2009.
- [17] P. A. Serena, J. J. Giraldo, N. Takeuchi, and Y. J. D. Tutor, *GUÍA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA*. 2014.
- [18] "Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities NANOTECHNOLOGIES A compendium for educators."
- [19] "Communicating NANOTEchnology to European YOUth | NANOYOU Project | FP7

- | CORDIS | European Commission." [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/233433>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [20] "Home - TryEngineering.org Powered by IEEE." [Online]. Available: <https://tryengineering.org/>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [21] "IEEE - The world's largest technical professional organization dedicated to advancing technology for the benefit of humanity." [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [22] "IBM - España." [Online]. Available: <https://www.ibm.com/es-es>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [23] "The National Informal STEM Education Network." [Online]. Available: <https://www.nisenet.org/>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [24] "Explore Science: Zoom into Nano Training Videos on Vimeo." [Online]. Available: <https://vimeo.com/showcase/3636993>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [25] "Nano." [Online]. Available: <https://www.nano.gov/>. [Accessed: 08-Apr-2020].
- [26] "National Science Teaching Association." [Online]. Available: <https://www.nsta.org/default.aspx>. [Accessed: 08-Apr-2020].
- [27] Generalitat de Catalunya Departament d'Ensenyament, "El currículum competencial a l'aula," 2018.
- [28] A. García-Carmona and A. M. Criado, "Introduction to Semiconductor Physics in Secondary Education: Evaluation of a teaching sequence," *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 31, no. 16, pp. 2205–2245, 2009.
- [29] Cabinet Tècnic Departament d'Educació, "Currículum educació secundària obligatòria," 2019.

Annex 1 (Nanolitografia)

Introducció

Transferir un dibuix/patró a una superfície s'utilitza constantment a la indústria, des de l'estampació de samarretes fins als motlles industrials utilitzats per donar forma a les peces de plàstic. En tots ells, l'objectiu final és el mateix: «dibuixar» la superfície d'un material.

Els dispositius nanotecnològics, com la indústria electrònica, també tenen aquesta necessitat. Com s'ho fan per transmetre un patró per així poder dibuixar un transistor al substrat semiconductor? El procés litogràfic, descrit a la següent figura, permet transferir un dibuix/patró a un substrat de la següent manera:

- **Dipositar resina:** cobrir amb una resina fotosensible el substrat.
- **Exposar:** il·luminar la resina amb llum ultraviolada, interposant una màscara (dibuix a transferir) entre la font de llum i el substrat cobert amb resina.
- **Revelar:** procés per eliminar la resina que ha quedat debilitada a causa del procés químic amb la llum.
- **Processar:** modificar la superfície del substrat.
 - Atacar la superfície
 - Dipositar una capa
- **Eliminar resina:** netejar el substrat de la resta de resina.

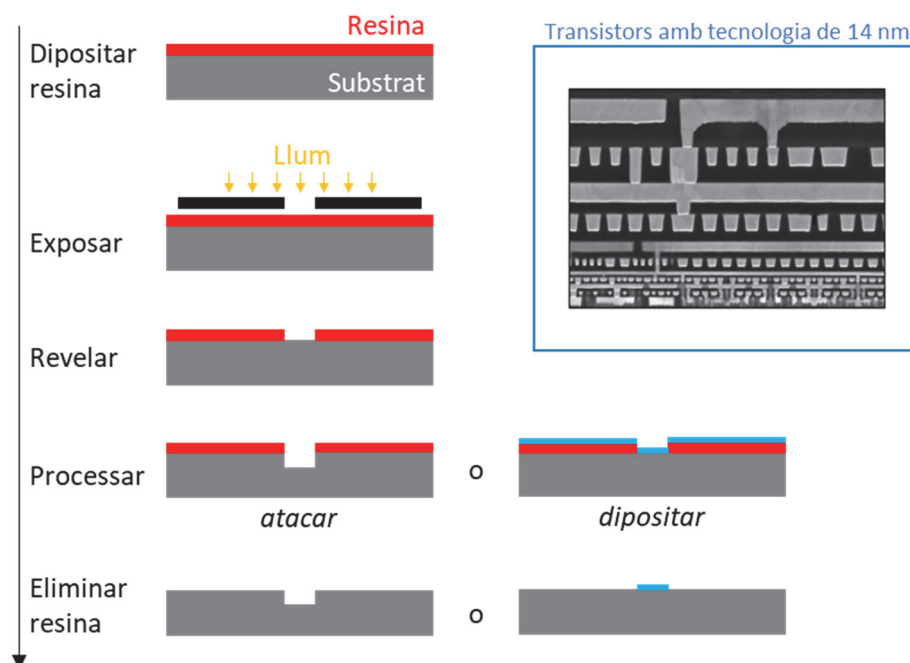


Figura. Procés litogràfic genèric. S. Natarajan et al., 2014 IEEE International Electron Devices Meeting, San Francisco, CA, 2014, pp. 3.7.1-3.7.3, doi: 10.1109/IEDM.2014.7046976.

Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Activitat 1

La paraula litografia, *lithography* amb anglès, prové del Grec *litho* «pedra» i *graphy* «escriptura». És un procés on s'utilitza la propietat de (no) solubilitat entre l'aigua i l'oli per definir dues regions a la superfície d'una pedra: una zona humida, la qual rebutjarà la tinta (material gras) i una zona oliosa la qual quedarà impregnada amb la tinta. Amb aquesta tècnica, (només) el dibuix de la pedra queda impregnat amb tinta i és possible transferir-lo a una altra superfície.

Aquesta tecnologia data de l'any 1796 com a procés tecnològic per fer múltiples còpies d'un escrit i/o dibuix. Tot i la seva antiguitat, com veurem més endavant, és àmpliament utilitzada a la tecnologia del semiconductor.

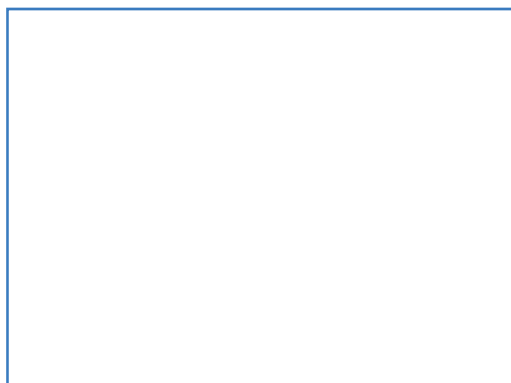
Activitat: Es tracta que, en grup, mitjançant el **procés tecnològic** utilitzeu el concepte litogràfic per transferir un dibuix/patró a una superfície.

- Requeriment: es desitja dibuixar una estrella, ven definida, a una fulla de paper. Per fer-ho es disposa només del full de paper, cinta adhesiva, estisores, cotó i tinta.
- Recerca i generació d'idees: discutir i analitzar solucions possibles.
- Selecció i planificació: escollir el procés i planificar-lo.
- Realització: fer el projecte.
- Verificació i avaluació final: testejar el producte i avaluar el resultat.

Dibuix



Resultat



Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Activitat 2

Un cop vist com podem transferir un patró a una superfície utilitzant el procés litogràfic, és hora de veure com la llum ens pot ajudar amb aquest propòsit (fotolitografia) i com s'aplica a la indústria electrònica a escala nanomètrica. Visualització del vídeo següent, en especial els dos primers minuts on s'explica la tècnica de la fotolitografia.

- YouTube (Electron Beam Lithography): <https://youtu.be/PWV9pvdRBNY>

Com heu vist, la llum ultraviolada (UV) s'utilitza per exposar un polímer fotosensible. El polímer es diposita per tota la superfície quedant aquesta coberta i protegida. Després s'utilitza un vidre (màscara) amb el dibuix que es vol transmetre/gravar, el qual es col·loca sobre de la resina. D'aquesta manera es generen zones exposades a la llum i zones amb ombra (no exposades).

La següent figura mostra un exemple de biomolècula fotosensible, la diazonaphthoquinone (DQ) sulphonate, utilitzada en moltes de les resines fotosensibles. Quan la DQ s'associa a les molècules del polímer (resina) es forma un compost insoluble i hidrofòbic. Amb l'exposició a la llum UV, la molècula DQ sofreix un seguit de reaccions químiques:

- La llum trenca els enllaços amb el nitrogen formant un estat inestable.
- Succeeix un reajust anomenat reacció de Wolff on la molècula torna a estar estable.
- Després, amb l'exposició a l'aigua o humitat ambiental, grups OH s'enllacen a l'àtom de carboni formant un àcid.
- Finalment, aquest compost àcid es pot dissoldre i ser eliminat mitjançant un dissolvent.

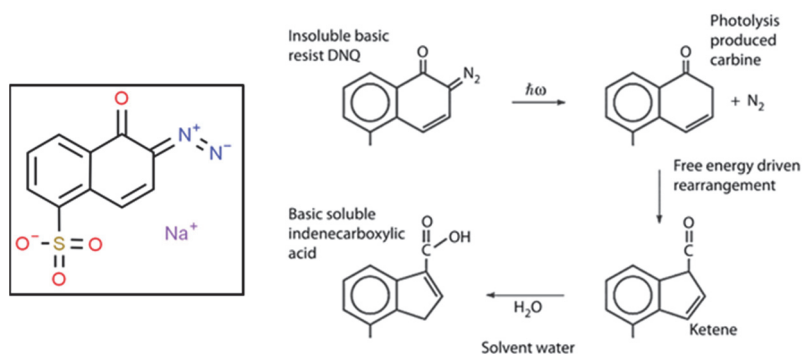


Figura. Molècula fotosensible de diazonaphthoquinone (DQ) sulphonate utilitzada en moltes de les resines fotosensibles. Reacció química que sofreix la molècula DQ en un procés fotolitogràfic, extret del llibre Labs on Chip: Principles, Design and Technology, CRC Press, 2018 (Figure 4.38).

Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Activitat: A continuació, en grup, prepareu un **mapa conceptual** sobre el procés fotolitogràfic que doni resposta a les següents qüestions:

- Dibuix esquemàtic del procés fotolitogràfic (vist al vídeo anterior).
- Breu explicació de cada pas del procés.
- Identificació dels àtoms que formen part de la molècula fotosensible DQ.
- Representació simbòlica i equació química de la reacció a la molècula DQ.

En el següent enllaç de l'empresa fabricant de resina fotosensible MicroChemicals, a l'apartat de *Application Notes (Downloads)* hi ha un recull de documentació relacionada amb la litografia i/o la resina fotosensible que us poden ajudar a complementar el mapa conceptual. També podeu mirar-vos l'enllaç a la Wikipedia:

- MicroChemicals: https://www.microchemicals.com/downloads/application_notes.html.
- Wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresist>.

Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Activitat 3

Què succeeix quan les dimensions dels dispositius que volem gravar amb la tècnica litogràfica són nanomètriques? El fenomen de la difracció i la nanolitografia. Els laboratoris més moderns d'*Intel Corp.* produeixen transistors a escala nanomètrica, però és possible reduir encara més el tampany d'aquests dispositius? Doncs hi ha un límit òptic, anomenat el límit de difracció, el qual està relacionat amb la longitud d'ona (λ) de la llum utilitzada per fer la fotolitografia. Per molt que vulguem evitar, sempre hi haurà un espai entre el suport amb la resina posada i la màscara d'ombra, anomenat gap, el qual provoca un fenomen de difracció òptica, tal com mostra la figura següent:

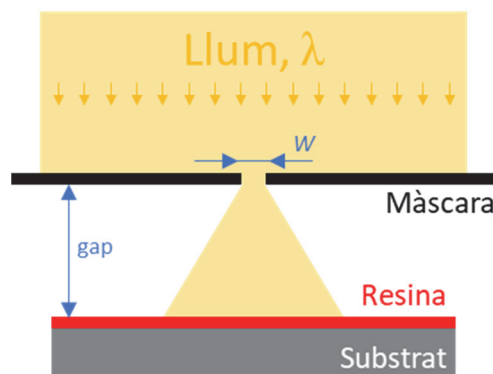


Figura. Exemple del fenomen òptic de difracció. La llum passa a través d'una obertura petita, fet pel qual provoca que la imatge formada cobreixi una àrea major a l'esperada.

Activitat: En el següent enllaç hi ha un simulador web sobre el fenomen d'interferències òptiques (el qual podeu utilitzar per jugar i aprendre al mateix temps).

- PhET™ Wave Interference: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_en.html.

Realitzeu la següent prova/experiment i debateu en grup el que observeu:

- Seleccionau el mode Slits.
- Seleccionau una font de llum com a generador.
- Poseu el sensor per mesurar la potència que arriba a l'altra banda de la «màscara», col·locant un sensor perpendicular a l'obertura i l'altre a la part en «ombra».
- Observeu el que succeeix en utilitzar dues mides d'obertura (Slit Width), poseu la mínima i la màxima que us permeti el programa.

Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Com heu observat, si l'obertura (W) de la màscara és gran, el patró es transmet a correctament, és a dir, a la perpendicular de l'obertura hi ha una potència elevada de llum i a la zona d'ombra la potència és molt més petita. Per altra banda, si W és petit la potència a la perpendicular de l'obertura és quasi la mateixa que a la zona d'ombra, i per tant no es podrà transferir el dibuix/patró correctament.

Generalment, la imatge projectada final es pot calcular utilitzant la teoria de difracció de Fresnel, sempre que la dimensió del gap estigui dins dels límits.

$$\lambda < gap < \frac{W^2}{\lambda}$$

Així doncs, s'ha de complir que l'obertura (resolució mínima del nostre dibuix/patró) ha de ser: $W > \sqrt{gap \cdot \lambda}$. Com es pot observar la longitud d'ona (λ) de la llum juga un paper molt important per obtenir dimensions nanomètriques.

Activitat: Realitzeu una recerca de les longituds d'ona típiques de les fonts de llum utilitzades a la indústria electrònica i calculeu la resolució mínima dels motius utilitzant l'equació anterior. Supposeu que el gap és d'1 μm .

Font de llum	Longitud d'ona λ (nm)	Resolució W_{\min} (nm)	Referència



Nanolitografia (fitxa per l'estudiant)

Activitat 4 (a més a més)

Com s'ha vist, la longitud d'ona de la llum utilitzada és un factor que limita si volem obtenir resolucions per sota de les desenes de nanòmetres. Així doncs, és possible aconseguir resolucions per sota dels pocs nanòmetres, resolucions atòmiques? Doncs sí, investigadors d'IBM van demostrar, escrivint el logotip de la companyia, la potencialitat de la tècnica Scanning Probe Microscopy per moure àtoms d'una superfície.

Considerant aquesta tècnica, les lletres «atòmiques» tindrien una dimensió d'1 nm, així doncs tots els llibres del món podrien estar escrits en un únic full A4!

- Vegeu la Figura 9 de M. Salmeron i Batallé, «els microscopis d'efecte túnel i de forces atòmiques: finestres al món dels àtoms i molècules», Revista de Física, 2n semestre 1992, p 4-14. URL: <https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000055/00000085.pdf>.
- Vegeu extracte de diari «El Mundo»: URL: <https://www.elmundo.es/el-mundo/2013/05/28/nanotecnologia/1369742958.html>.

Activitat: Empleneu la següent taula amb els avantatges i inconvenients d'utilitzar aquesta tecnologia.

Avantatges	Inconvenients

Annex 2 (Semiconductor)

Introducció

Els materials poden ser classificats segons la seva conducció elèctrica, així doncs hi ha materials conductors, com ara els metalls (no suposen un impediment al pas dels electrons) i materials aïllants, com el vidre (suposen una barrera al pas d'electrons). Amb aquesta classificació també hi ha una sèrie de materials anomenats semiconductors, els quals són la base de l'electrònica. Les propietats elèctriques dels semiconductors poden ser modulades mitjançant la tècnica del dopat.

Un dels semiconductors més utilitzats és el silici (Si), un dels materials més presents a la terra: per exemple la sorra està formada majoritàriament de derivats del silici. L'estructura cristal·lina del silici (c-Si) es mostra a la figura-a, on l'àtom de Si amb quatre electrons de valència està unit per enllaços covalents als seus veïns, estructura completament pura. Aquesta, anomenada *intrínseca*, és generalment processada per introduir-hi impureses dopants, i així modificar la seva conductivitat (material *extrínsec*). Si s'introdueixen àtoms pentavalents (vegeu figura-b), com ara de fòsfor, s'obté un semiconductor amb electrons lliures, la qual cosa facilita la conducció d'electrons (anomenat silici tipus n). Si s'introdueixen àtoms trivalents (vegeu figura-c), com ara de bor, s'obté un semiconductor amb dèficit d'electrons, la qual cosa dificulta la conducció d'electrons (tipus p).

El procés de dopar el semiconductor permet modificar les seves propietats. Aquest no és un procés exclusiu de la indústria electrònica, per exemple a la indústria metal·lúrgica s'utilitza un procés semblant anomenat aliatge. La mescla de dos metalls o un metall amb un altre element permet millorar la resistència mecànica, la duresa i/o la resistència a la corrosió, entre d'altres.

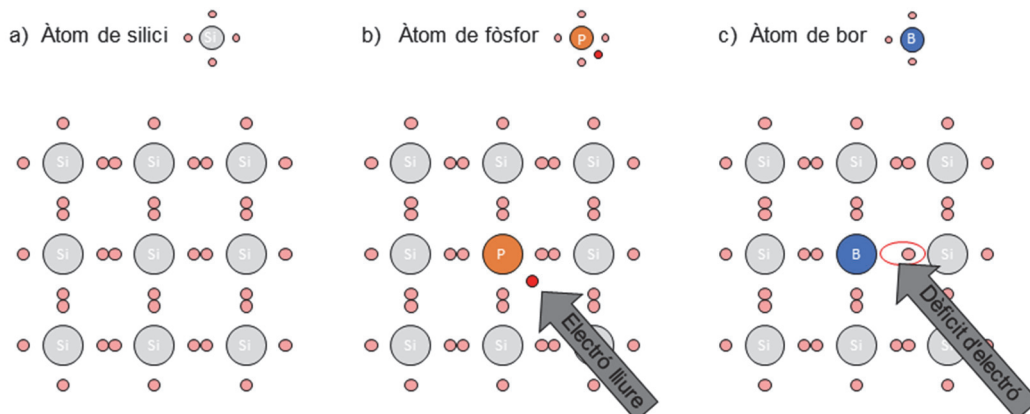


Figura. a) àtom de silici i estructura cristal·lina del silici (c-Si) intrínseca. b) àtom de fòsfor (pentavalent) i estructura del c-Si dopat tipus n. c) àtom de bor (trivalent) i estructura del c-Si dopat tipus p.

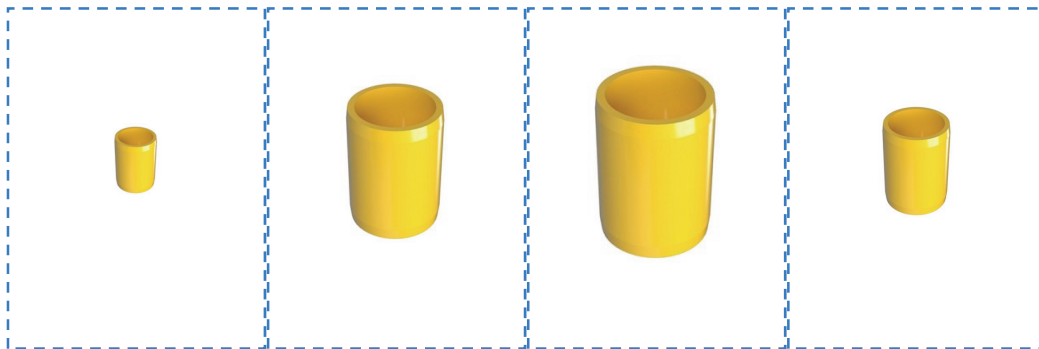
Semiconductor (fitxa per l'estudiant)

Activitat 1

A continuació, amb grup, realitzarem dos experiments per comprendre/deduir quin és el paràmetre que podem variar per augmentar o disminuir la resistència d'un conductor (cable de coure), i quin és el paràmetre que ens permet modificar la conductivitat d'un semiconductor, és a dir, fer-lo més o menys resistiu.

L'electricitat, i per tant els electrons, és un fenomen el qual pot ser difícil de comprendre, ja que no el podem observar visualment. Tret, de quan el podem veure en fenòmens meteorològics, és a dir els llamps.

Activitat: Una manera fàcil d'entendre el seu comportament és a través de la comparació amb altres fenòmens més tangibles... Podem doncs, imaginar-nos que les gotes d'aigua i/o els cotxes que circulen amb una autopista són electrons. Amb aquesta comparació en ment, ordena les següents imatges segons si suposen una resistència major o menor al pas dels electrons:



Aquests tipus de comparacions/símils són molt útils, no només amb el cas que acabem d'observar. En el següent enllaç observarem com utilitzen canonades d'aigua per comprendre un concepte relacionat al g (telefonía mòbil). Sabríeu dir doncs, quin element del vídeo seria l'equivalent als nostres electrons?

- QuèQuiCom (5G i ample de banda): <https://www.ccma.cat/tv3/alacarta/quequicom/5g-i-ampla-de-banda/video/5878527/>.

Semiconductor (fitxa per l'estudiant)

Finalment, per acabar de comprendre el corrent elèctric que circula per un conductor, utilitzarem un simulador web, on podrem veure com varia la resistència d'un conductor (R) en funció de la seva resistivitat (ρ), secció (A) i longitud (L).

- PhET™ Resistance in a Wire: https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_en.html.

Activitat: Així doncs, utilitzant la llei d'ohm, Indiqueu quins paràmetres podem variar per augmentar el corrent elèctric que circula per un conductor (considerant una tensió aplicada constant).

Com s'ha vist, la geometria d'un conductor és molt important per poder controlar el flux d'electrons que hi circulen, és a dir el corrent elèctric. Així i tot, hi ha altres paràmetres, no geomètrics, que podem variar per tal d'augmentar el flux d'electrons (disminuir la resistència/ augmentar la conductivitat). A la tecnologia del semiconductor aquests paràmetres són molt importants.

Activitat: A continuació tal com mostra la següent figura, utilitzant un multímetre, un assecador de cabells i un tros de silici (c-Si) experimenteu que succeeix quan s'escalfa el c-Si. Deduïu quin paràmetre estem variant, a part òbviament de la temperatura.



Temperatura	Resistència (Ω)	Què succeeix?
Temperatura ambient		
Augmentar temperatura (utilitzant assecador)		

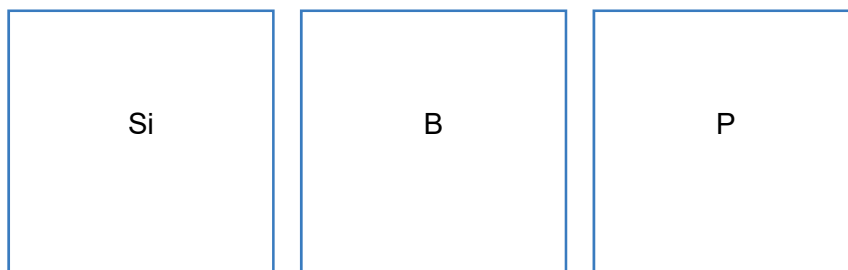
Semiconductor (fitxa per l'estudiant)

Activitat 2

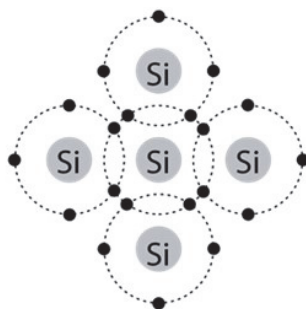
Com hem vist a l'activitat anterior, si escalfem un semiconductor generem electrons lliures i per tant la seva conductivitat augmenta (disminueix la seva resistència). A la tecnologia del semiconductor hi ha una altra forma per augmentar els electrons lliures, anomenat dopat. Si ens introduïm al món subnanomètric observarem què succeeix!

Activitat: Estudi dels àtoms de silici, de bor i de fòsfor.

- Busca els elements a la taula periòdica i anota i descriu el seu símbol, nombre atòmic, configuració electrònica, grup de la taula periòdica, caràcter metàl·lic o no-metàl·lic i estat d'agregació a temperatura ambient.
- Dibuixa el model planetari (Bohr) de cada element amb els seus neutrons, protons i electrons. Per repartir els electrons (e^-), en els diferents nivells d'energia recorda el model ondulatori de l'àtom que ens indica que en cada nivell d'energia (n) el nombre d'electrons que hi caben és $2n^2$.



- Quants electrons de valència (nivell d'energia més extern) té cada element? En funció d'aquest nombre, quin nom prenen aquests elements?
- Estudi de la forma cristal·lina (enllaços). Els àtoms de silici es poden unir mitjançant enllaços covalents: els àtoms comparteixen els seus 4 electrons de valència amb els àtoms veïns, obtenint així vuit electrons i completant el nivell d'energia. La següent figura mostra la seva forma.



Sabríeu dibuixar i explicar que succeeix quan substituïm un àtom de silici per un de bor o un de fòsfor? Relacioneu-ho amb l'augment d'electrons lliures, la conductivitat i el tipus de semiconductor (és a dir tipus n o p).

Semiconductor (fitxa per l'estudiant)

Activitat 3

Alguna de les possibles preguntes que hom pot fer-se són: És possible observar coses a escala nanomètrica? És possible observar els àtoms d'un semiconductor?

Doncs la resposta és sí. Hi ha una tècnica molt utilitzada pels científics, la qual els permet observar el món nanomètric. Els microscopis més corrents, com els que segurament heu utilitzat al laboratori de l'escola, són microscopis òptics. Els microscopis òptics utilitzen la llum i una seria de lents per amplificar la imatge a observar, no obstant això, quan el que es desitja observar té escala nanomètrica s'ha d'utilitzar una altra tecnologia.

Els microscopis d'electrons (no confondre amb electrònics), anomenats *Transmission electron microscopy* (TEM), utilitzen un feix d'electrons i la interferència que aquests tenen amb el material observat, per generar una imatge de la superfície del material. Un exemple es pot observar a la següent figura, on es visualitza un semiconductor format per nitrur de gal·li (GaN) molt utilitzat als dispositius d'emissió de llum (LEDs) per generar el color blau. Observeu l'escala (1 nm) de la imatge!

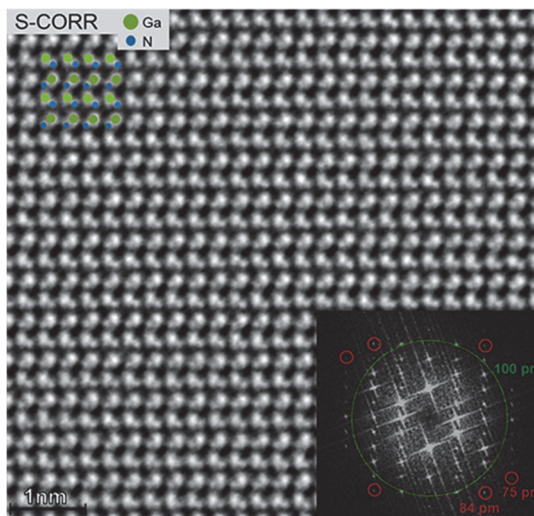


Figura. Transmission Electron Microscope (TEM) imatge of Gallium nitride (GaN) semiconductor. Thermo Fisher Scientific: <https://www.fej.com/products/tem/themis-z-for-materials-science/>.

A continuació investigarem el funcionament dels microscopis d'electrons. Ho farem a través d'un TEM virtual disponible al següent enllaç:

- MyScope Outreach: <http://myscope-explore.org/index.html>

Activitat: En grups, prepareu una infografia sobre el seu funcionament. Afegiu-hi dibuixos esquemàtics, exemples d'utilització i/o imatges reals, etc. Per així augmentar la comprensió del seu funcionament. La infografia ha d'estar feta amb un full A3 i tenir una forta component visual.

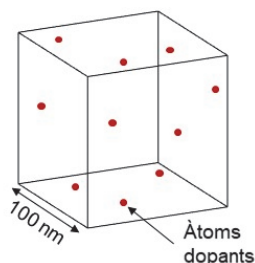
Semiconductor (fitxa per l'estudiant)

Activitat 4 (a més a més)

Ta tecnologia del semiconductor utilitza diferents regions dopades tipus n i/o tipus p per crear tota classe de dispositius electrònics, els quals treballen en conjunt i formen el que coneixem com a processadors «xips» d'ordinador, entre altres dispositius. Un exemple són els fabricats per la companyia *Intel*, els *Core i5*, *i7* o *i9*.

Aquests processadors fa anys que utilitzen la nanotecnologia per fabricar els seus dispositius, però tenint en compte el que ara sabeu sobre semiconductors i el dopat, és possible reduir a escala nanomètrica les zones dopades d'un semiconductor? Resoleu el següent problema i extraieu les vostres pròpies conclusions!

Activitat: Quan es dopa el silici amb àtoms de fòsfor obtenim electrons lliures que afavoreixen la conducció de l'electricitat. Generalment s'utilitzen concentracions al voltant de 1×10^{16} àtoms de fòsfor per cm^3 . Aquesta concentració és relativament petita comparat amb la densitat que té el silici cristal·lí, 1×10^{23} àtoms/ cm^3 . Així doncs els nivells de dopat que s'utilitzen no afecten les propietats semiconductor del silici, però sí a la seva conducció elèctrica. Amb aquestes dades calculeu la relació d'àtoms de fòsfor i silici per a un cub de 100 nm de costat. Indiqueu també, el nombre d'electrons lliures.



Àtoms de fòsfor	Àtoms de silici
↔	
Núm. d'electrons lliures:	

Activitat: Què succeeix si disminuïm encara més les dimensions del cub? Calcula la relació per un cub amb arestes de 10 nm. Què observes amb relació a la quantitat d'electrons lliures? Com afectarà la conductivitat del material?

Àtoms de fòsfor	Àtoms de silici
↔	
Núm. d'electrons lliures:	

Annex 3 (Nanotransistors)

Introducció

El transistor és un dels dispositius clau per entendre la revolució tecnològica del segle XX, la irrupció de la tecnologia del semiconductor. El transistor va ser inventat el 1947 com a alternativa a les vàlvules de buit, les quals eren molt costoses de fabricar, fràgils i voluminoses. Des de la seva invenció, la tecnologia del semiconductor ha permès reduir cada vegada més les dimensions dels transistors, fet pel qual s'han millorat prestacions com ara la velocitat i el consum. En l'actualitat, es fabriquen transistors amb dimensions nanomètriques!

Però, **que és un transistor?** La figura següent mostra un possible aspecte d'un transistor (encapsulat i part interna), on s'observen els seus tres terminals i el dau semiconductor on està fabricat. Un transistor, pot funcionar com a

- **Amplificador:** Per un dels terminals s'injecta el senyal i amb els altres dos s'obté la mateixa forma d'ona, però amplificada.
- **Interruptor:** Un dels terminals és el que controla els altres dos., els quals estaran en circuit obert (interruptor desactivat) o circuit tancat (interruptor activat).

Aquesta última propietat ha sigut molt important amb la digitalització de la informació. Avui en dia, pràcticament tota la informació que consumim (mòbil, TV, etc.) està codificada en codi binari (zeros i uns), certament el transistor ha sigut fonamental per poder implementar/interpretar aquesta codificació: el transistor quant funciona com interruptor té un estat binari, és a dir «0» (interruptor desactivat) o «1» (interruptor activat). El tipus de transistor més utilitzat a la indústria electrònica és el MOSFET (acrònim de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).

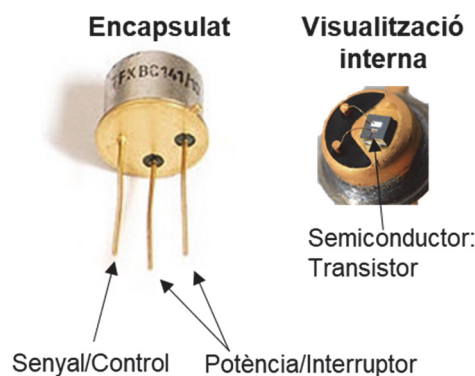


Figura. Encapsulat d'un transistor el qual pot variar en funció del tipus de transistor, en general però sempre tindran tres terminals. Visualització interna, on s'observa el dau de semiconductor on hi ha construït físicament el transistor. Imatge extreta de: Wikimedia Commons.

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

La següent figura mostra un possible disseny MOSFET per comprendre **quin és el principi bàsic de funcionament**. En aquest cas el substrat és de silici tipus p, el que significa que té un dèficit d'electrons lliures, fet pel qual és un conductor pèssim pels electrons (resistència molt elevada).

Destacar també, que hi ha dues regions en el substrat que són tipus n, el que significa que tenen un accés d'electrons lliures, és a dir condueixen molt bé els electrons (resistència molt petita). Aquestes dues regions són accessibles externament a través d'uns terminals metàl·lics, els quals reben el nom de Drenador (Drain) i Font (Source). Per l'altra banda, hi ha un tercer terminal, anomenat Porta (Gate), el qual està connectat mitjançant una capa aïllant amb el substrat. Aquest contacte s'estén entre les dues regions tipus n. Observeu que aquesta estructura, metall/aïllant/semiconductor és anàloga a la d'un condensador.

Així doncs, si s'aplica una tensió positiva a la Porta aquesta queda carregada amb càrrega positivament i produeix un fenomen d'atracció de càrrega negativa a l'altre costat de l'aïllant. És a dir, atrau electrons (càrrega negativa) a la superfície del semiconductor. Aquest fenomen és el semblant al que s'observa amb els camps magnètics: dos imants de pols oposats s'atreuen i del mateix pol es repel·leixen. Al contrari, si s'aplica una tensió negativa a la Porta, aquesta queda carregada negativament i produeix un fenomen d'atracció de càrrega positiva (o una repulsió d'electrons) a la superfície del semiconductor.

En el primer dels casos, tensió positiva a la Porta, produeix que es generi un «canal» ple d'electrons lliures que connecta les dues zones tipus n. És a dir, l'interruptor està tancat, i per tant circula corrent entre la Font i el Drenador. En el segon cas aquest «canal» no queda format i per tant els electrons de la Font no poden anar al Drenador. És a dir, l'interruptor està obert.

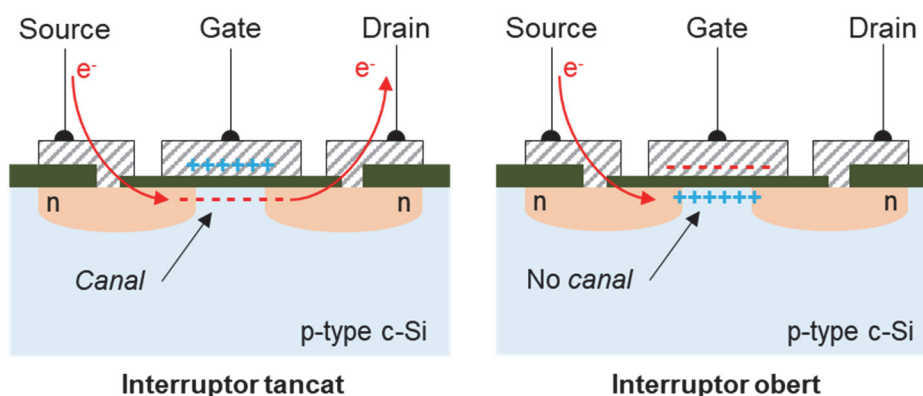


Figura. Esquema representatiu d'un MOSFET. A l'esquerra l'interruptor està tancat gràcies a la creació d'un canal (tensió positiva a Gate) que contacta el Source amb el Drain. A la dreta l'interruptor està obert, ja que no es genera el canal, per tant no circula corrent entre els dos terminals.

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Activitat 1

És possible dissenyar/construir un interruptor el qual no estigui accionat mitjançant l'accionament mecànic? És possible, a més que es pugui controlar el seu estat, és a dir obert o tancat mitjançant un impuls elèctric (tensió i/o corrent)? Doncs sí, aquests interruptors existeixen, de fet varen revolucionar la indústria del segle passat, amb la tecnologia del semiconductor.

Per fabricar un interruptor de semiconductor (transistor) és necessari disposar d'unes instal·lacions i equips molt especialitzats. Així doncs, no és possible fer-ho a l'aula, i per tant el que investigarem són les propietats elèctriques i magnètiques del corrent elèctric, per així tenir una primera aproximació al fenomen que es produeix amb els MOSFETs.

Activitat: A continuació, amb grup, mitjançant el procés tecnològic utilitzeu la relació que hi ha entre electricitat i magnetisme per crear un interruptor governat per un corrent elèctric.

- Requeriment: es desitja fabricar un interruptor accionat amb corrent elèctric. Per fer-ho es disposa d'un clau metàl·lic, un cable de coure llarg, un clip i una pila. Per fer les connexions es pot utilitzar cables, cinta, etc. S'utilitzarà un LED i una pila per comprovar que el corrent elèctric circula quan l'interruptor es tanca.
- Recerca i generació d'idees: discutir i analitzar solucions possibles.
- Selecció i planificació: escollir el procés i planificar-lo.
- Realització: fer el projecte.
- Verificació i avaluació final: testejar el producte i avaluar el resultat.

Esquema plantejat

Resultat

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Activitat 2

Un cop vist com podem fabricar un interruptor, on no és necessari un mecanisme mecànic per accionar-lo, és hora d'investigar la força electromagnètica que ho fa possible.

En tots els fenòmens elèctrics apareix el fenomen de càrrega elèctrica. Quan un cos té un excés d'electrons, la seva càrrega elèctrica neta és diferent de zero (està carregat negativament). Per contra, quan té un dèficit d'electrons està carregat positivament.

En els següents enllaços hi ha exemples interactius d'aquest fenomen, us sonen?

- PhET™ Ballons and Static Electricity: https://phet.colorado.edu/sims/html/balloons-and-static-electricity/latest/balloons-and-static-electricity_en.html.
- PhET™ John Travoltage: https://phet.colorado.edu/sims/html/john-travoltage/latest/john-travoltage_en.html
- PhET™ Capacitor Lab. Basics: https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html

Activitat: En el transistor MOSFET, concretament en el seu terminal de Porta també s'hi dona lloc la força electromagnètica. En grup, realitzeu una presentació d'unes 3 o 4 diapositives explicant aquest fenomen i relacionant-lo amb el MOSFET.

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Activitat 3

Un transistor és un simple interruptor, però que succeeix quan treballa amb xarxa amb altres transistors? Els enginyers són capaços de fer que els transistors realitzin processos més complexos, com ara dispositius per emmagatzemar informació, és a dir memòries o dispositius per realitzar operacions matemàtiques!

En l'actualitat tots nosaltres tenim algun dispositiu electrònic, el qual emmagatzema informació, des de fotos, vídeos, documents o música, entre d'altres. Així doncs disposar de memòria suficient és una de les obsessions/necessitats que tenim. Gràcies a la nanotecnologia es poden crear milions de transistors, el que permet crear milions de bits de memòria, i per tant poder guardar hores de música o pel·lícules en els nostres telèfons mòbils (òbviament, aquesta es guardada amb format binari, és a dir amb «0» i «1»).

En el següent vídeo es visualitza com fer treballar els transistors perquè ens permetin escriure (també és possible llegir) un bit de memòria:

- Programa QUEQUICOM de TV3 (en especial a partir del minut 17):
<https://www.ccma.cat/tv3/alacarta/quequicom/de-lenigma-a-lordinador/video/5627567/>.

Un cop vist com podem crear un bit de memòria, és hora de veure com han evolucionat els circuits integrats, gràcies en part, a la nanotecnologia. En concret ens fixarem amb el nombre de transistors que hi ha a cada circuit integrat, aquest concepte és conegut com a llei de Moore (observació de Moore). Gordon Moore és un dels fundadors de la companyia *Intel*, coneguda popularment pels seus processadors Core i5, i7 i i9.

- Vimeo (Scientists you must know: Intel founder Gordon Moore):
<https://vimeo.com/70293585>.

Activitat: Busca informació sobre l'evolució dels circuits integrats: nombre de transistors per circuit. Utilitza un full de càlcul per fer una representació gràfica de la llei de Moore. Per fer-ho crea dues columnes, a la primera posa l'any de creació i a l'altre el número de transistors. Intenta trobar exemples que vagin des del 1970 fins al 2020 (aproximadament).

Un cop creada la taula, representa gràficament la informació en escala logarítmica i en escala lineal i raona les característiques de cada format, quina és més còmode per observar? Sabries extreure'n l'equació que defineix la tendència d'integració?

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Activitat 4

Des de fa anys, els enginyers estan desenvolupant nova tecnologia per poder fer els transistors, cada vegada més petits, actualment aquests es poden fabricar a escala nonomètrica. Però, es poden fer encara més petits? Hi ha alguna limitació física que ho impedeixi? Doncs malauradament sí, així i tot, els científics estan desenvolupant constantment noves tècniques per esquivar les limitacions de la física.

Una d'aquestes limitacions té a veure amb el funcionament dels transistors MOSFETS, els quals utilitzen el principi de càrrega elèctrica generada al contacte de Porta per induir un «canal», i així contactar les dues zones tipus n (Font i Drenador). Aquesta propietat pot ser descrita com un condensador, on la fórmula de la capacitat (C) en funció de la constant dielèctrica (ϵ) de l'aïllant (característica de cada material), l'àrea del dispositiu ($A = L \cdot W$) i la distància de separació entre els dos contactes (d) ve determinada per:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Vegeu doncs que per un MOSFET, tal com el de la figura següent, amb una capacitat (C) de Porta coneguda i la qual volem mantenir igual, per no variar les seves prestacions, si disminuïm la mida del transistor, és a dir l'àrea (A), segons la fórmula necessitem realitzar alguna de les següents accions (ambdues utilitzades als transistors més moderns):

- Augmentar la constant dielèctrica del material aïllant (ϵ). Malauradament no hi ha molts materials amb aquesta característica.
- Disminuir el gruix de la capa aïllant (d) entre el metall de Porta i el substrat semiconductor. Existeix un límit, ja que per a gruixos de pocs nanòmetres apareixen efectes quàntics no desitjats, com ara l'efecte túnel.

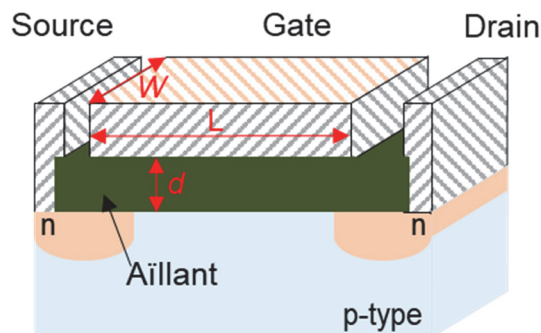


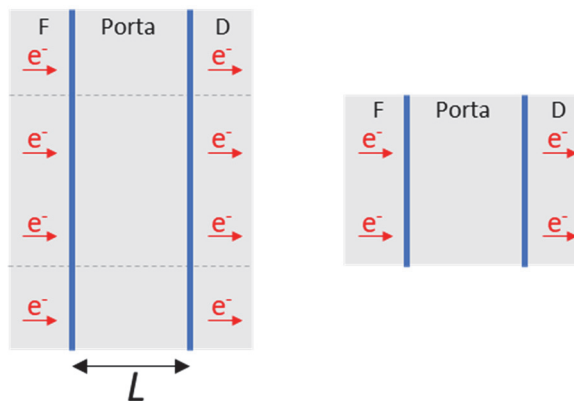
Figura. Esquema d'un MOSFET on s'observa els paràmetres geomètrics de la Porta (Gate)

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Una de les alternatives utilitzades és tan «simple» com buscar dissenys geomètrics que permetin esquivar les limitacions assenyalades anteriorment, entre d'altres. Un d'aquests dissenys és fabricar transistors amb el contacte de Porta en tres dimensions (3D).

Activitat: En fabriquem un? En grup, discutiu i raoneu si podeu disminuir les dimensions del transistor, en concret la distància L , sense modificar les seves propietats (la seva capacitat de Porta).

- Agafa dos fulls de paper (mida A4), un d'ells talla'l pel mig. Dibuixa-hi dues línies paral·leles per diferenciar les tres zones d'un MOSFET (Font, Drenador i Porta). Dibuixa-hi també unes fletxes que representin el flux d'electrons, per així comprendre més bé el seu funcionament. Tal com mostra la següent figura.



El funcionament d'aquest transistor és ben simple, és el que hem vist anteriorment: si apliquem una tensió a la Porta, es genera un canal (d'electrons lliures) que permet el flux d'electrons de la Font (F) al Drenador (D). D'aquesta manera el circuit elèctric està tancat. Si no s'aplica aquesta tensió, els electrons de la Font no poden arribar al Drenador i el circuit està obert.

- Un cop tinguis el dibuix del transistor fet, agafa el full de paper sencer i doblega'l per les línies puntejades. Us ha de quedar com la forma d'una taula.
- Compareu els dos transistors, el 3D amb el d'estructura planar.
 - o Quines diferències observeu?
 - o Calculeu d'àrea de Porta dels dos transistors, quina és?
 - o Què podeu fer per igualar l'àrea del transistor 3D amb la del planar?

Nanotransistors (fitxa per l'estudiant)

Activitat 5 (a més a més)

Un dels primers fabricants a desenvolupar la tecnologia de Porta en 3D va ser Intel amb els anomenats Tri-Gate transistors, que posteriorment han sigut coneguts com a transistors FinFET. En els següents vídeos s'observa com funcionen i quines són les seves propietats:

- YouTube (Mark Bohr encoge para explicar 22 nm):
<https://youtu.be/hBGkyMMPn8c>.
- YouTube (From Sand to Silicon: The Making of a Microchip):
<https://youtu.be/VMYPLXnd7E>.

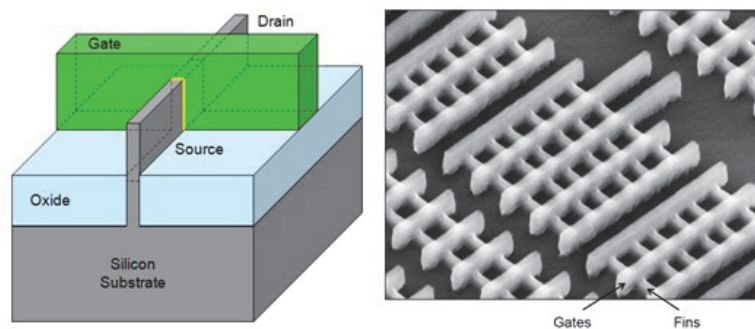


Figura. Esquerra representació esquemàtica d'un transistor FinFET. Dreta imatge real de transistors FinFET obtinguda a partir d'un microscopi d'electrons. Imatges obtingudes de la presentació d'Intel anomenada «Intel Announces New 22 nm 3D Tri-gate Transistors». Web: <https://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/standards-22nm-3d-tri-gate-transistors-presentation.html>.

Activitat: En grup, busqueu informació sobre la història del transistor i realitzeu un informe escrit. Incloeu les seves fites principals en una línia de temps acompanyades d'imatges, en especial les diferents tipologies de transistors. Indiqueu les pàgines web d'on heu tret la informació.

Un exemple és el que acabem de veure, la tecnologia FinFET, (si busqueu l'any de creació i/o d'aplicació en un Xip ja teniu un punt en el vostre informe).

Podeu iniciar la vostra cerca a la següent pàgina d'*Intel*, on hi ha un bon exemple de la seva evolució tecnològica:

- Intel Chips Timeline: <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/history-intel-chips-timeline-poster.html>.