

Nur malofte spegulita vorto havas ankoraŭ ian sencon. Nur en artisme elpensita palindromo tio sukcesas. Nur malmultaj aŭtoroj memvole penis super tiaj malfacilaĵoj. Al *Goethe* ne tre plaĉis tiaj inversaj formoj, kiujn li taksis “diablaj versoj, kiujn oni povas legi retre kaj inverse”. Ĉu li volis aludi al la kabalo, kie vortoj invertitaj (nigra-)magie efikas? Ankaŭ en Esperanto ekzistas tiaj vortludoj; *Raymond Schwartz* estis ilia majstro.

Tamen ekzistas aliaj ĝenroj, en kiuj pli adekvate estas plenumebaj spegulaj aspiroj. *Lewis Carroll* kreis tutan “spegullandon” en kiun *Alice* grimpas tra salona spegulo. Kaj la Germana verkisto *Michael Ende* skribis libron kies titolo tiuĉikampe ne estas superebla: “La spegulo en la spegulo - labirinto”. En ĝi troviĝas intrigo, kiu la vivon de maljunulo spegulece retroirigas ĝis la beba fazo, eĉ transen: la morto fariĝas naskiĝo kaj inverse.

V. Fino

Denove ni staras antaŭ la sekreto, kiun lasas - apud la travideblaj fizikaj leĝoj - la spegulado al la homa menso.

En tiu ĉi artikolo ni ne povis detaligi la temon, krome mankas gravaj kampoj kiel ekzemple la tuta tereno matematika, la tekniko, la muziko.* Sed espereble ĝi povis vekti intereson por la fenomenoj simetrio kaj spegulado. Atenta observanto pli ofte ol li supozas renkontas ilin en la naturo, la kulturo, la vivo mem.

* Pri muzikaj speguladoj okazis prelego de la aŭtoro kadre de la kunveno de ISAE dum la 84a UK en Berlino.

(Adaptado de germanlingva prelego kun ekspozicio kaj muziko en “*Club Ebene Eins*” (21.3.1999) en *Schifferstadt / D.*)

Adreso de la aŭtoro:

Franz-Georg RÖSSLER
Am Mönchsbusch 6
DE 67373 DUDENHOFEN
GERMANIO

Esploroj pri sunceloj en Svislando

Rudolf HAUGER (CH)

La artikolo priskribas la staton de la evoluo en la fotovoltaiko per skizo de la bazaj fizikaj kondiĉoj kaj de aplikoj, aktuale studataj en kvar svisaj esplorinstitutoj. Aldoniĝas ekonomiaj pripensoj pri alternativenergioj kaj pri antaŭkondiĉoj de ebla merkatenkonduko.

Ekologiaj intereso, teknologiaj eblecoj - ekonomia realeco

La aktuala celo de la fotovoltaiko estas la gajno de energio surbaze de malpli damaĝigaj alternativaj procesoj, kiuj liveras la multflanke uzeban elektran energion. Grandaj estas la esperoj kaj la optimismo, instali tiajn solarcentralojn, sed la vojo tien estas esplor-kaj kapitalintensiva. Konceptitaj interesaj esplormodeloj kaj pilotinstaladoj ankoraŭ ne signifas sukcesan industrikadran aplikon.

La hodiaŭa mondvasta jara produktado de t. n. fotovoltaik-moduloj atingas povumon de ĉ. 180 Mega-vattoj (MW). Moduloj estas en tiu kunteksto memstare funkciantaj, bazaj teknikaj produktad-unuoj vaste pliampleksigeblaj por la konstruo de pli potencaj instaladoj, kiuj funkcias laŭ sama teknika proceso.

La tiurilata produktadmerkato ekmontas negativan retrokuplon, ĉe kiu la vendokvanto kreskas dum la prezoj malkreskas (la prezoj ĉ. 5-6% je jaro). Tamen, la produktita kurento ne estas havebla je konkurenca malalta prezo: kompare kun ekz. gascentraloj kun forto-varmo-kuplado la kostoj de la voltaika kurento estas - depende de la situacio - ĉ. 20- ĝis 60-oble pli altaj. Sed necesas emfazi, ke la efektivaj kostoj de la tradiciaj karbocentraloj - inkluzive de la sanecaj kaj ekologiaj damaĝoj - pli kaj pli favorigos eknovaĵojn sur la kampo de la varmigo kaj de la elektra energiproduktado. Se oni eĉ konsideras la gravajn riskojn de la nuklearcentraloj kiel fakte ne pageblajn kaj certe ne asekur-kovritajn, tiam devus esti la kurentoprezoj surbaze de la enkondukitaj metodoj multe pli altaj.

En la teknike evoluinta Svislando ekzistas en tiuj jaroj ĉ. 1200 solarinstaladoj kun totala povumo de 10 MW (ĉ. 1,5 W po 1

loĝanto) produktante 8 milionojn da kWh; tio estas tamen nur $< 0,1$ promilo de la tutsvislanda kurento-konsumo.

Pli gravas la rolo de Svislando en la tiucela esplorado. Tion prezenti estas la celo de la artikolo. Sed necesas pritaksi, sub kiuj kondiĉoj solarĉeloj kiel kurentoproduktantoj povas funkcii ankaŭ ekonomie kiel konkurencaj instalaĵoj.

La baza fizika proceso

La fizika bazo de la fotovoltaika fenomeno estas la observo de Edmond Becquerel en 1839. Nur post eltrovo de silicio kiel duonkonduktanta (DK-a) materialo en diodoj en 1954 oni ekkonis en la laboratorioj de Bell Telephon, ke la limtavolo inter du duonkonduktantoj (DK-o) estas la origino de elektronoj, eksciteblaj per sunlumo. Sed necesas stapli la elektran potencialon, kiu baziĝas sur la disigo de negativaj elektronoj kaj postrestantaj t. n. pozitivaj truoj.

Pli detalaj eksplikoj kaj skemoj de la DK-a modelo troviĝas en la teksto de la IKU-prelego dum la 68a UK en Budapeŝto en *Sciencaj Komunikaĵoj* [1].

Ankorau hodiaŭ estas silicio la plej grava DK-a materialo. Intertempe eblas elekti inter du ĉefaj varietatoj: la pli multekosta monokristala silicio kun relative alta efiko ĉe la transformo de lumenergio en kurento (12 - 24 %), sed kun altaj kostoj je vatto (W), au la malpli multekostaj mincaj tavoloj de amorfa silicio kun malpli efika transformo (6 - 13 %), sed kun malpli altaj kostoj je W.

En la praktiko superpezas la produktado de amorfaj ĉeloj, antaŭ ĉio por miniaturaj aplikoj en horloĝoj, poŝkalkuliloj ktp.

Sed eblas ankaŭ t. n. tandem-kombinado: sur stabila, portanta bazo estas tavoligita unue $0,3 \mu\text{m}$ da amorfa kaj tiam $3 \mu\text{m}$ mikrokristala silicio, ŝirmita fine per lumtrapasebla protektotavolo [8].

Multaj substancoj estas taŭgaj por la transformproceso, kelkaj el ili pli efikaj (ekz. galioarsenido, indiofosfido), sed parte pli venenaj, se ne okazas strikta reciklado (kadmiotelurido).

Konvenciaj solarĉeloj estas areaj DK-diodej kun eksponita barotavolo, ĉe kiu lumenergio estas transformita en elektran

energian. La DK-limfaco plenumas kaj la taskon de la lumo-ensorbado kaj tiun de la disigo de la rezultanta potencialportantoj (elektrono-truo-paro). La kurento ekestas sekve de transkuro de la ŝargportantoj trans ekstera cirkvito.

Ĝenerale necesas altkvalita pureco de la materialoj kaj neĉeesto de kristaldifektoj, ĉar alie okazas la rekombino de la du ŝargportantoj en kontakto kun malpuraĵoj kaj kristal-limoj anstataŭ la produktado de kurento per transkuro tra la cirkvito.

Centroj de la fotovoltaika esplorado en Svislando

En Svislando ekzistas minimume 4 esplorgupoj, kiuj okupas sin pri interesaj aplikeblaj konceptoj; ties sinsekva priskribo estas arbitra laŭ tekstkoncepto kaj neniel koncernas prioritaton au kvaliton.

1. Fotoelektrokemiaj solarĉeloj.

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Institut de Photonique et Interfaces

CH 1015 Lausanne, SUISSE

En tiuj ĉeloj [2] okazas la lum-ensorbado kaj la disigo de la ŝargportantoj en du apartigitaj procesoj. La fotoelektra efiko originas en specifa kolorsubstanco (t. n. sensibilizilo), kiu troviĝas en monomolekula tavolo sur la surfaco de la DK-o. Per la ensorbo de fotono $h\nu$ iu valencelektrono de la kolorsubstanco estas aktivigita kaj levita el la baza stato en ekscitan staton, do al pli alta orbitnivelo. El tiu stato la kolorsubstanco injektas tiun elektronon en la kondukbandon de la DK-o.

La ĉeestanta redoksmediatoro prohibas la rekombinon per rapidega (10 ns) disponigo de elektrono al la kolorsubstanco, kiu per tio estas regenerita. La injektita konduktoelektrono fluas tra la DK-o al elektrodo kaj tra ekstera cirkvito al la kontrauelektrodo.

La DK-o estas filmo de titandioksido (TiO_2), kiun oni preparas en formo de t. n. nanostrukturo kun granda porozeco kaj malglateco (milobligita surfaco); helpe de tiu strukturo oni atingas, ke la lumo trafenetas multajn tavolojn de la kolorsubstanco kaj estas pli forte ensorbita.

La normala diko de la nanokristala TiO_2 -filmo estas 10 μm . Kiel redoksmediatoro utilas la paro jodido-trijodido (I^-/I_3^-), elektrodoj estas vitro kun konduktanta oksid tavolo. La kolorsubstanco devas havi larĝan lum-ensorbospektron kaj devas esti kapabla transkuri ĉ. 100 milionojn da cikloj, kiuj respondas al 20-jara vivdaŭro sub sunradiado. Tre taŭga estas ekz. $\text{cis}-(\text{SCN})_2\text{-bis}(2,2'\text{-bipiridil-4,4'-dikarboksilat})\text{-Ru(II)}$. La krudmaterialkostoj estas entute malaltaj, ĉar necesas nur malmultege da rutenio.

La modulkostoj povas esti diminuitaj al ĉ. 0,6 USD/ W_p (pintokurento). Se oni diminuas la dikecon de la nanokristala filmo al nur 0,3 μm , la ĉeloj estas travideblaj, kio ekz. ebligas kurentproduktantaj fenestroj kiel moduloj.

2. Kurento el simulita suno - termofotovoltaika brulilo

Paul Scherrer Institut (PSI)

Photovoltaik

CH 5232 Villigen, SCHWEIZ

Principo estas la surradiado sur fotoĉelo nur per tiu parto de la lumspekto, kiu povas esti efektive transformita en kurento [3], [4]; tiu estas fakte nur malgranda parto de la sunspekto. Gasflamo estas tiel instalita, ke tiu elradiilo emisias selektivan lumspektron, kiu efikas en la proksimeco de la bendobreĉo de la DK-o. La uzita metodo por ricevi utilan brulilon estas la gaslampo, kiu funkcias per la inkandeska mufo (eltrovita de *Carl Auer von Welsbach* en 1885).

Auer uzis tiam torio- kaj ceriooksidon por ricevi plej eble helan lumon. En la aktuala kazo pli taŭgas la oksidoj de la lantanidoj, ekz. iterbio-oksido, se oni volas uzi fotodiodojn el silicio; se oni preferas diodojn el galioantimonido respektive indiogalioarsenido pli taŭgas erbio- respektive holmio-oksido.

La spektrala sensibleco de silicio troviĝas inter 0,35 kaj 1,1 μm (bendobreĉo-energio 1,12 eV). La elradiilo estas per gaso hejtita arda oksido, kiu emisias lumon kaj varmon. Inter la centra elradiilo kaj la periferie instalitaj fotodiodoj troviĝas kvarco-cilindro kiel varmŝirmilo; en ĝi fluas akvo, kiu ensorbas la infraruĝajn varmoradiojn produktante varmakvon. Necesas la elkalkulado de la radiado-interŝanĝo inter emisiilo, akvofiltro kaj solarĉelo.

Nau dekonoj de la elradiita energio estas varmo, unu dekonon (depende de la emisieco kaj de la transmisieco) estas transformebla en elektronenergion. Tiu rilato ŝajnas modesta, nur la temo ne estas granda kvoto, sed le ekonomia uzo de la hejtenergio favore al energigajno dum la hejtperiodo.

Celo estas la evoluo de aloj el silicio kaj germanio kun 'pli-malgranda energibreĉo' ('*Niederbandgap*'), kiu pli bone kapablas transformi la plilongondan infraruĝradiadon.

Ankaŭ se la grado de la efikeco estas teorie 10% kaj praktike nur 5%, tiu metodo povas taŭgi kiel interligo-tekniko; ĉ. 1,5 milionoj da oleo- kaj gas-hejtitaj domcentraloj tiel ekipitaj povus liveri - laŭ investkalkuloj - rimarkeblan kontribuon al la elektroprovizado, kaj tiun kun atraktiva prezo.

La *Paul Scherrer Institut* estas cetere instalita por la ĝenerala laboratoria karakterizo kaj testado de solarĉeloj kaj moduloj. Tio okazas sub t. n. standard-test-kondiĉoj. Por la teknika testado sub naturaj kondiĉoj estas aplikita longdaŭra subĉiela provado, kiu liveras pli taŭgajn eldirojn laŭ realaj kondiĉoj en la pejzaĝo aŭ en la Alpoj.

3. Flekseblaj minctavolaj solarĉeloj

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)

Institut für Quantenelektronik - Gruppe Dünnschichtphysik

CH 8005, Zürich, Technoparkstrasse 1, SCHWEIZ

Malhelpo por la apliko de solarĉeloj estas ĝenerale la nesufiĉa efikecogrado kaj la produktadkostoj. Nova varianto [5] [6] estas pro tio specifa tavolo en dikeco de nur kelkaj milonoj da mm konsistanta el lumensorba DK-kombinaĵo el kupro, indio, galio kaj seleno (CIGS) (t. n. kuprohalokopirito Cu(In,Ga)Se_2). Per la rilato inter indio kaj galiumo la bendobreĉo de la energiniveletoj povas esti optimale adaptita al la solarspekto, kio ebligas en la laboratorio efikecogradojn ĝis 19% por malgrandaj areoj. Por ĉeloj en dimensioj 30 cm x 30 cm estas atingebla 12 - 14%, preskaŭ la valoron de kristala silicio.

Kiel substrato taŭgas normala fenestrovitro. La baza tavolo estas molibdeno, sekvas 2-3 μm dika ensorba p-DK-a CIGS-tavolo

(vakuovaporigita ĉe 5500 C), poste n-DK-a kovrotavolo el kadmiosulfido kaj zinkoksido. En la ensorba CIGS-tavolo ekestiĝas la elektron-truo-paroj, kiuj estas separatitaj en la elektrokampo de la p-n-transiĝo kaj fluas al la respektivaj kontaktoj.

Gravas, ke CIGS ankau funkcias en formo de multkristala tavolo kun kristalgrajnoj de μm . (Oni supozas, ke la multkristalaj grajnoj estas pasivigitaj per difuzo de natrio el la vitro).

Alia fenomeno de CIGS estas la granda stabileco kontraŭ maljuniĝo. Oni observis, ke unuopaj kuproatomoj ene de la strukturo moviĝas kaj riparas kristaldamaĝojn (*Advanced Materials*, 1999, 957-961); moviĝoj de atomoj ene de kristalstrukturoj, kontraŭe al tiuj de elektronoj, oni ĝis nun neniam konstatis. Tio povas esti nova efeto de memstabilizantaj substancoj. En la aktuala kazo povas tiu efeto ekspliki la ekstreman stabilecon de CIGS-DK-oj ĉe damaĝigo per enradiado sub spacokondiĉoj.

Sed ĝis nun ankoraŭ ne ekzistas grandskala fabrikado. Kalkulante ĉe jarproduktado de 10 MW_p kostojn de 2 CHF/W_p, eblas prognozi ĉe produktado de 500 MW_p kostojn de 0,5 CHF/W_p. Kalkuloj montras, ke la kostoj de moduloj rajtas atingi maksimume 0,7 CHF/W_p. Nur tio garantias konkurenceblajn kurentoprezojn de ĉ. 0,1 CHF/kWh. (La prezo de kurento el silicioĉeloj estas multoble pli alta kaj teknike ne plimulte malaltigebla). [W_p signifas = produktita povumo en W ĉe normita maksimuma solarenradiado].

Generala bazo de fotovoltaika apliko en Svislando estas la fakto, ke la sun-enradiado sur solarĉeloj kun tipa efikecogrado de 10 - 15% produktas 100 - 150 W elektran povumon po 1 m²; tio respondas ĉ. al jara kurentoproduktado de 100 - 150 kWh.

En tiu kunteksto gravas la ekologia aspekto de la energi-regajnotempo: tiu estas la tempo, kiun modulo bezonas por produkti tiom da energio kiom oni bezonis por ties fabrikado. Por kristalaj silicioĉeloj tiu tempo sumiĝas al kelkaj jaroj, por minctavolaj ĉeloj nur al ĉ. 3 - 6 monatoj; en tiu kalkulado la pura vitrosustrato bezonas plej multe.

La kvanto de la bezonataj DK-aj materialoj estas malgranda. Kalkuliĝas, ke la hodiaŭaj disponeblaj provizoj da indio kaj galio

sufiĉas por la fabrikado de kvanto da CIGS-moduloj, kiuj povus liveri multajn Giga-W_p; tamen ekzistas mallarĝa dispono de indio.

Plua specifeco de CIGS estas la ebleco, ke tiu tavolo ne nur povas esti survaporigita sur vitro kiel portanta materialo, sed ankau sur specifa plastikfolieto kiel substrato. Tio ebligas ne nur malgrandan pezon, sed ankau la avantaĝon de flekebleco. Kiel portanto servas ĉ. 20 mm dika polimerfolio, kiu tamen ne povas esti prilaborita ĉe la necesa alta temperaturo. Pro tio oni laboras malrekte: oni metas akvosolveblan tavolon de natrioklorido sur vitron kaj surcentrifugas sur ĝi tavolon de poliiimido (Kapton®), poste estas aplikita molibdeno (per 'd. c. sputtering': kontinuo-kurenta katododisjeksiado), tiam 2 μm CIGS, CdS kaj ZnO (per 'r. f. sputtering': radiofrekvenca katododisjeksiado). Per akvo oni forsolvas la poliiimidon kaj ricevas ĉ. 25 μm dikan, ruleblan kaj flekseblan solarĉelon de tre malalta pezo (specifa povumo 1,5 kW/kg - sesoble pli granda ol tiu de silicio) kun la menciita CIGS-inhera rezisteco kontraŭ la ioniza radiado en la spaco. La konversio-efikeco atingas ĉ. 12,8 %.

4. Mikromorfaj solarĉeloj

Université de Neuchâtel

Institut de Microtechnique (IMT)

CH 2000 Neuchâtel, Rue A. L. Brequet 2, SUISSE

El la jam faritaj pripensoj rezultas, ke grandskalaj instalaĵoj por la gajno de solarkurento devas esti konkurencebla laŭ ekonomia prezo kaj laŭ ekologia avantaĝo. Tio signifas grandajn ŝancojn por minctavolaj kaj amorfaj konversioĉeloj [7], [8], [9].

La klasika t. n. *wafer*-tekniko (tradukebla per oblato au vaflo) estas grandteknike ne aplikebla; ekz. necesas por 1 MW_p ĉ. 10 tunoj da altpura kristala silicio, kio signifas investon de 10 kWh 'griga energio' po 1 W_p; tio respondas al energi-regajnotempo de 4 - 8 jaroj; ('griga energio' estas tiom da energio, kiom devas esti uzita por la produktado ĝis ekfunkcio de instalaĵo). Por daurigebla (vd. anekson) teknika evoluo materialfluo, energidisipado kaj ekologioŝargadoj devas elmontri aprobindan bilancon kaj perspektivon.

Pli supre estis elmontritaj diversaj alternativoj. Se temas pri grandareaj modularoj de kelkaj centmiloj da kvadratmetroj celas la teknika tendenco al la apliko de ĉeloj el amorfa silicio kun averaĝa efikogrado inter 4-6%. La produktado de la ĉeloj mem postulas nur unu trionon de la kostoj, la aliaj du trionoj estas ĝeneralaj kostoj, kiuj ekestas el teknikaj necesajoj, kiuj estas cetere la samaj kiel ĉe ĉiuj aliaj modularalternativoj.

Kio gravas estas la efikeco de la aplikeblaj teknikaj procezoj, la t. n. procez-optimumado. El bazaj kvantumfizikaj kauzoj estas la ensorba koeficiento de la kristala silicio (c-Si) relative malalta en tiu parto de la lumo, en kiu la intenseco de la sunspektro estas plej granda. Tio favoras la aplikon de nur 1 μm dikaj amorfaj silicotavoloj (a-Si). Aldoniĝas la ebleco, deponi la tavolon pere de kapacitive ekscitita plasmone kiel kutime ĉe standard-frekvenco de 13,56 MHz, sed en la VHF-regiono inter 50-150 MHz, kiu efikas pli grandan deponadokvanton respektive pli grandan areon je tempo-unuo. Tiu procedo okazas en ĉeesto de silano kaj hidrogeno $[\text{SiH}_4] + [\text{H}_2]$. Kompromiso inter la du eblecoj estas la mikromorfaj hidrogenenhavaj ĉeloj ($\mu\text{c-Si:H}$).

Altkvalitaj mikrokristalaj tavoloj estas aplikitaj en la *Institut de Microtechnique* kiel fotokonvertaj *intrinsic* (= fakte efikaj) tavoloj ene de mikrokristala p-i-n-solarĉeloj; temas pri p- kaj n-dotitaj tavoloj en la amorfa p-i-n-solarĉeloj.

En la komence menciitaj tandem-ĉeloj ensorbas la supra amorfa solarĉelo specife la bluan kaj verdan lumon, la malsupra mikrokristala solarĉelo transformas la ruĝan kaj infraruĝan parton en elektron.

Aktualo do ŝajnas, ke silicio restas en la venontaj jaroj la decida materialo de la fotovoltaiko.

Ŝancoj kaj malfacilaĵoj de globala apliko de solarĉeloj.

La grand skala enkonduko de merkatorientitaj amasproduktoj kiel celitaj kaj ŝatataj eknovaĵoj devas konsideri tute aliajn aspektojn ol ties evoluadojn. Fundamentaj esploroj kostas monon, sed la merkatenkonduko bezonas kapitalon, kiu estas elmetita al parte granda risko. Nur kapitalfortaj konzernoj kapablas kaj pretas

grandskale lanĉi produktojn de nova teknologio. Ŝajnas, ke svisaj firmaoj ofte hezitas aŭ ne pretas disponigi la necesan riskokapitalon por gajni novan merkaton.

Japanaj firmaoj ekz. pli volonte pretas, per t. n. 'koncertita' kaj intensiva evoluosovo antaŭenpuŝi produkton al merkatureco. La kunagado de ŝtato kaj industrio ĉe investado en longtempajn stimulumprogramojn ebligas futurajn merkatavantagojn.

Jam hodiaŭ konataj elektronik-konzernoj (Kyocera, Sharp, Sanyo, Solec, Canon) produktas trionon de ĉiuj venditaj solarĉeloj.

Ĝuste la multnaciaj oleogigantoj kiel BP-Amoco kaj Shell okupas pli ol 25 % de la mondmarkato je solarĉeloj; (en Gelsenkirchen DE intencas Shell ĝis fino de 2001 produktokvanton da 25 MW je solarkurento). Tio pravas, ke ĝuste la 'oleo-multi-oj' kredas je la futura sukceso de la alternativa fotovoltaiko, sciante pri la limigiteco de la oleorezervoj.

En tiu situacio necesas krei inter la esplorantaj altlernejoj kaj la ŝtataj instancoj, responsaj pri la ŝtate subvenciitaj esploradoj, utilan interretaron pri kunlaboro kaj sciotransigo inter esplorado kaj industrio, por ke ne okazu perdmigrado de kvalifikaj esplorkompetencoj kaj perdo de laborlokoj (okazis tio ekz. pri la likvidkristaloj (LCD), kiuj estis eltrovitaj en la 1970a jaroj ĉe Hoffmann - La Roche en Bazelo (*Basel*), kaj kies amasproduktado intertempe troviĝas en Japanio).

La elvido.

Spite al uzita 'griza energio' estas la ekologia elvido rilate al ĉiuj solarinstaladoj pozitiva, ne nur se temas pri varm-akvo-produktado, sed ankaŭ rilate al la gajno de pli altvalora elektra energio, kiu fine disponigas mekanikan energion.

Ne forgesindaj estas aliaj utilaj alternativaj energifontoj, ekz. ventenergio, marenergio. Sed entute ni ne forgesu: ĉiuj tiuj menciitaj energifontoj, escepte nukleoenergio kaj tervarmo, baziĝas sur antaŭe enradiigita sunenergio aŭ sur tiel generita kaj staplita energiriĉa biomaso kiel karbo, oleo, ligno. La kontinua provizado de la tero kun radiado per la suno ebligas al ni, helpe de la sciencoj, rekte uzi

la enradiadon kaj tiel ŝpari la staplitajn energirezervojn por multe pli valora utilizado ol tiu por brulado.

Kelkaj informoj pri la necesa uzo de alternativaj energifontoj

Lau IEA (Internacia Energi-Agenturo) estas jare uzitaj 3,5 miliardoj tunoj da nafto. En 1998 taksitaj rezervoj estas 143 miliardoj tunoj, la jare novtrovataj rezervoj estas 0,8 miliardoj. La kalkulado de la t. n. agodaŭro estas ofte erariga; cetere, nafto ĉiam ĉeestos, nur la prezo ege altiĝos.

Por anstataŭi la duonon de la fosiliaj energiportantoj necesus ĉ. 7000 novaj nuklearcentraloj; tio statistike signifus ĉiun duan jaron katastrofon kompare al *Ĉernobil*.

La suno enradias ĉ. la 15000-oblan kvanton de la jare uzita energio. La *Kyoto*-Konvencio, celante la limigon de la CO₂-emisiado emfazis la lanĉon de multflanka esplorado de alternativaj energifontoj. La ĝisnunaj sukcesoj ne estas enormaj. Tamen, kelkaj imponaj ekzemploj:

- la bio-maso-centralo en *Sacramento, USA*, liveras 8000 MW; la kostoj de biomasoenergio estas malaltaj: 0,065-0,175 CHF/kWh; grave estas, ke biomaso ebligas CO₂-neutralan bilancon;

- ventenergi-instalaĵoj liveras mondvaste ĉa 13400 MW je prezoj de 0,07-0,12 CHF/kWh kun malgrandiĝanta tendenco.

Tiuj eblecoj agas pli bone lau la principo de la subsideco (*subsidiarité*: regulado de reguleblaj aferoj sur pli malalta hierarkia ŝtupo lau federacia au regiona maniero).

Ili observas ankaŭ la principon de la t. n. daurigebleco (ekonomiga metodo surbaze de kvazau-nula provizo-disipo kun kvalita, sed sen kvanta kreskado, principe sen foruzo de energiaj kaj aliaj materialaj provizoj, tenante foruzadon kaj gajnon ĉe nul-bilanco.

La rezervoj je karbo estas (ankorau) grandaj, sed nek automobiloj nek aviadiloj moviĝas pere de karbo.

Elektro-auto, gaso-auto (*BMW*), hibrid-auto (*Toyota Prius*) ĝis nun nur limigite taugas; ŝancon havos la ŝparema auto (1-litro-auto intencita de *VW* ĉ. en 2006). Nova teknologio estos la hidrogeno-auto pere de t. n. brulaĵo-ĉeloj (*Mercedes Nocar 4* - hodiaŭ ancorau

tro multekosta). Esplorado pri tiu estonta teknologio okazas ankaŭ en la *Paul Scherrer Institut (PSI)*, Svislando.

Literaturo

- [1] Hauger R., *Kreskigo de kristaloj kiel kemia kontribuo al ricevo de energio el sunĉeloj*, *Sciencaj Komunikajoj*, 1986, n-ro 1, 59-66.
- [2] Bonhôte P., Kay A., Grätzel M., *"Photozellen mit Energieumwandlung nach Pflanzenart"*, *Bulletin Schweizerischer Elektrotechnischer Verein*, 1996(7), 11-16.
- [3] Durisch W., Grob B., Mayor J.C., Panitz J.-Ch., *Proc. 4th NREL Conf. on Thermophotovoltaic Generation of Electricity*, 1999, p. 403-414.
e-mail: wilhelm.durisch@psi.ch
- [4] Schubnell M., Durisch W., Grob B., Mayor J.-C. Panitz J.-Ch., *"Koproduktion von Wärme und Strom mit Thermophotovoltaik"*, *Gas-Wasser-Abwasser*, Zürich, 78, 1998(4), 248-253.
- [5] Tiwari A. N., Krejci M., Haug F.-J., Zogg H., *"12.8% Efficiency Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cell on a Flexible Polymer Sheet"*, *Prog. Photovolt.: Res. Appl.* 7, 1999, 393-397.
- [6] Tiwari A. N., Zogg H., *"Dünne Halbleiterschichten auf flexibler Folie"*,
Internet: www.iqe.ethz.ch/me+oe/tfp
e-mail: tiwari@iqe.phys.ethz.ch
- [7] Shah A., Tscharnner R., *"Auf dem Weg zu leistungsfähigen Dünnschicht-Solarzellen"*, *Bulletin Schweizer. Elektrotech. Ver.*, 23/1995, 21-26
- [8] Keppner H., Meier J., Torres P., Fischer D., Shah A., *"Microcrystalline silicon and micromorph tandem solar cells"*, *Appl. Phys. A* 69 1999, 169-177
<http://www-micromorph.unine.ch>
e-mail: reto.tscharnner@imt.unine.ch
- [9] Shah A., Torres P., Tscharnner R., Wyrsh N., Keppner H., *"Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells"*, *Science*, 285 (5427), 30 July 1999, 692-698
{www.sciencemag.org}.