



UN LIBRARY

MAY 21 1961

Distr.
LIMITED



UNITED NATIONS
CONFERENCE
ON NEW SOURCES
OF ENERGY

CONFÉRENCE
DES NATIONS UNIES
SUR LES SOURCES NOUVELLES
D'ÉNERGIE

E/CONF.35/S/56/SUMMARY
25 April 1961
ENGLISH/FRENCH
ORIGINAL: ENGLISH

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Agenda item/Point de l'ordre du jour:

II.C.1(b)(ii) -

Use of solar energy for mechanical power and electricity
production - By direct conversion to electricity -
By means of photo-electric cells

Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie
mécanique et d'électricité -
Par conversion directe en électricité -
Au moyen de cellules photo-électriques

THIN FILM PHOTOVOLTAIC DEVICES
FOR SOLAR ENERGY CONVERSION

By Leonard E. RAVICH
Itek Corporation, United States of America

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES A PELLICULE MINCE
POUR LA CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

Par Leonard E. RAVICH
Itek Corporation, Etats-Unis

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

(See notes overleaf)

LES AUTEURS ONT PRESENTE SUR INVITATION A LA CONFERENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ENERGIE DES MEMOIRES QUI SERONT DISTRIBUES COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFERENCE. CES MEMOIRES SONT PUBLIES TELS QUE LES AUTEURS LES ONT REDIGES ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

(Voir notes au verso)

N O T E S

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

THIN FILM PHOTOVOLTAIC DEVICES
FOR SOLAR ENERGY CONVERSION

Leonard E. Ravich*
Itek Corporation, United States of America

Summary

While interesting possibilities exist for large scale conversion of solar energy directly into electricity, most methods proposed for low cost solar energy utilization by photovoltaic means have been limited by a series of complex interdependent factors. Providing useful energy conversion devices for electrical power sources in under developed countries further compounds the problem. Large area, low cost photovoltaic cells possessing the characteristics of high efficiency, good reliability, ease of operation and simple fabrication and maintenance, are required. Most importantly, the photovoltaic layer must have good efficiency at elevated temperatures. This is particularly critical if solar collectors are used. The paper briefly reviews the theoretical and practical limitations of currently available solar cells and describes a research program in progress designed to provide large area photovoltaic layers possessing the characteristics uniquely suited to low cost energy conversion devices.

A one kilowatt power supply using silicon solar cells costs between \$250,000 and \$1,000,000 and weighs between 200 and 400 pounds, including the panel and supports. It would be ludicrous to suggest the use of such panels for power generation in under developed areas. Several groups are investigating techniques for making large area photovoltaic cells.

* Director, Physics and Chemistry Research Division, Itek Laboratories

Silicon cells have been made by mechanical deformation of silicon (rolling, extruding, forging) into large area thin sheets. Thin film silicon cells have been made by the reduction of silicon tetrachloride with hydrogen. Both techniques are expensive and severe limitations are imposed by the limited supply of silicon available and the specialized production capacity required to do the job. The paper shows that silicon cells may not be the most effective even if the cell area could be substantially increased and the cost lowered to a favorable level. Concentration of incident solar energy onto a silicon layer will increase the effective radiation but will also increase the cell temperature and thus reduce cell efficiency to an unacceptable level. A theoretical discussion is included to emphasize the importance of choosing the optimum photoconductive material for high temperature solar cells. It is concluded that large energy gap materials are best for the fabrication of solar cells to be operated at elevated temperatures.

Cadmium sulfide with an energy gap of 2.4 ev (as opposed to silicon with an energy gap of 1.1 ev) is chosen as an optimum material. The fabrication techniques and characteristics of single crystal CdS cells with opaque copper oxide barriers are described. "Backwall" evaporated CdS photovoltaic layers with opaque copper oxide barriers are also described and their characteristics discussed.

The Physics Department at Itek Laboratories has developed evaporated CdS photovoltaic cells having characteristics markedly different from those reported heretofore. The multilayer "transparent" photovoltaic cells are relatively simple to make, have good efficiencies (4-6%) and exhibit spectral response characteristics not anticipated by theoretical mechanisms heretofore published (peaks at about 8000 Å). The cell is made by evaporating CdS powder containing a donor impurity onto a conductive substrate applied to a Pyrex glass plate. The substrate may either be a gold "comb" electrode or a transparent tin oxide layer. The CdS film is prepared in a commercially available vacuum unit at a pressure of 5×10^{-6} mm Hg for about 30 minutes. The coated plate is then baked in air at 600°C. for 45 minutes, cooled slowly to 200°C. and returned to the bell-jar for the application of a second and third (if desired) CdS layer. The number of layers applied is determined by the layer thickness and the electrical characteristics desired. A small amount of acceptor impurity is added to the CdS powder used to prepare the top layer. A thin copper layer is then vacuum deposited onto the CdS. The plate is then baked in air at 400°C. for 15 minutes to form a transparent copper oxide barrier layer. The cell is completed by vacuum depositing a thin transparent gold film over the copper oxide barrier as the top electrode. Layers have been deposited on both rigid and flexible substrates. The "transparent" cells can be illuminated from either side and can be "stacked" for maximum utilization of incident radiation.

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES A PELLICULE MINCE POUR LA
CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

Par Leonard E. Ravich*
Itek Corporation, Etats-Unis.

Résumé

Bien qu'il existe des possibilités intéressantes pour la conversion directe de l'énergie solaire en électricité, sur une grande échelle, la plupart des méthodes qui sont proposées pour la mise en oeuvre de l'énergie solaire à bon compte par des moyens photovoltaïques se trouvent limitées par une série de facteurs complexes et mutuellement interdépendants. Le besoin de réaliser des dispositifs utilisables de conversion d'énergie destinés à servir de sources d'énergie électrique dans les pays sous-développés complique encore le problème. Il leur faut des cellules photovoltaïques à grande surface et d'un prix modique, ayant des caractéristiques telles qu'un rendement élevé et une bonne régularité de fonctionnement, qui sont d'une exploitation facile, simplement construits et d'un entretien commode. Chose plus importante, la couche photovoltaïque doit avoir un bon rendement aux températures élevées. C'est là une exigence particulièrement difficile quand il s'agit de collecteurs solaires. On passe brièvement, en revue dans le mémoire, les limitations théoriques et pratiques applicables aux cellules solaires dont on dispose actuellement et on décrit un programme de recherches actuellement en voie d'exécution, conçu pour réaliser des couches photovoltaïques à grande surface dotées de caractéristiques particulièrement indiquées pour leur intégration dans des dispositifs de

* Directeur, Division des recherches physiques et chimiques, Laboratoires Itek.

conversion d'énergie à prix modique.

Une source d'énergie de 1kW faisant usage de cellules solaires au silicium coûte entre \$250.000 et 1.000.000 et pèse entre 200 et 400 livres (90 et 180 kg) y compris panneaux et supports. Il serait absurde de suggérer l'emploi de panneaux de ce genre pour produire de l'énergie dans les régions sous-développées. Plusieurs groupes procèdent à l'étude des techniques propres à la réalisation de cellules photovoltaïques à grande surface. On a fait des cellules au silicium par une déformation mécanique de cet élément (laminage, travail à la presse, forage) aboutissant à la production de feuilles minces de grande surface. Les cellules au silicium à pellicule mince ont été réalisées par la réduction du tétrachlorure de silicium par l'hydrogène. Les deux techniques sont coûteuses et le manque de silicium et des installations de production spécialisées dont on a besoin, en limite beaucoup le domaine d'application. Le mémoire révèle que les cellules au silicium ne sont peut-être pas les plus efficaces dont on dispose, même en augmentant beaucoup la surface des cellules et en ramenant leur prix à un niveau favorable. La concentration de l'énergie solaire incidente sur une couche de silicium augmente le rayonnement utile mais elle fait également monter la température de la cellule et, de la sorte, ramène son rendement à un niveau qui cesse d'être acceptable. On présente un examen théorique de la question, en soulignant l'importance du choix du matériau photoconducteur optimum pour les cellules solaires à haute température. On aboutit à la conclusion que les matériaux qui présentent une large discontinuité énergétique sont ceux qui se prêtent le mieux à la fabrication de cellules solaires destinées à fonctionner à des températures élevées.

On a choisi le sulfure de cadmium, dont la lacune énergétique est de 2,4 ev (alors que celle du silicium est de 1,1 ev) comme produit idéal. On décrit les techniques de fabrication et les caractéristiques des cellules monocristallines au sulfure de cadmium avec barrière opaque en oxyde de cuivre on examine également les couches photovoltaïques à sulfure de cadmium évaporé du type "Backwall", avec barrière opaque en oxyde de cuivre, et on passe en revue leurs caractéristiques.

Le service de physique d'Itek Laboratories a mis au point des cellules photovoltaïques à sulfure de cadmium évaporé, dont les caractéristiques sont très différentes de celles qui ont retenu l'attention jusqu'à présent. Les cellules photovoltaïques "transparentes" à couches multiples sont d'une réalisation relativement simple, leur rendement est bon (4 à 6%) et elles ont des caractéristiques spectrales que les modèles théoriques publiés jusqu'à

présent ne permettent pas d'attendre (maxima à environ 8000°). On réalise la cellule en faisant évaporer de la poudre de sulfure de cadmium qui contient une impureté d'apport sur un support conducteur étalé à son tour sur une plaque en verre pyrex. Le support peut être soit une électrode "peigne" en or, soit une couche transparente d'oxyde d'étain. On prépare la pellicule de sulfure de cadmium au moyen d'un appareil à vide que l'on trouve dans le commerce, sous une pression de 5×10^{-6} mm Hg pendant trente minutes environ. La plaque ainsi enduite est alors cuite à l'air à 600° C pendant 45 minutes, refroidie lentement jusqu'à 200° C et renvoyée à l'appareil à vide, en vue de l'application d'une deuxième et d'une troisième couche de sulfure de cadmium en cas de besoin. Le nombre des couches ainsi appliquées est déterminé par leur épaisseur et les caractéristiques électriques recherchées. On ajoute une certaine dose d'impuretés (d'un corps accepteur) à la poudre de sulfure de cadmium dont on se sert pour préparer la couche supérieure. On dépose alors une couche mince de cuivre (sous le vide) sur le sulfure de cadmium. On fait cuire la plaque à l'air à 400° C pendant 15 minutes, pour réaliser une couche d'arrêt en oxyde de cuivre transparent. La cellule est complétée par le dépôt, toujours sous le vide, d'une pellicule transparente d'or mince sur la couche d'arrêt d'oxyde de cuivre comme électrode supérieure. On a déposé de ces couches tant sur des supports rigides que sur des bases flexibles. Les cellules "transparentes" peuvent être éclairées d'un côté ou de l'autre et on peut les empiler en vue de réaliser un maximum d'exploitation du rayonnement incident.

