

ПОСТОЯННОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО
СССР ПРИ ООН

г. Нью-Йорк

СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАБОТ
В ОБЛАСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРА-
ЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
(аналитический обзор)

I. Введение

В 1990 году и в первой половине 1991 г. продолжалось устойчивое развитие технологии и производства фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии. Благодаря своим известным преимуществам: простоте применения и высокой надежности, ФЭП находят для себя все больший рынок потребления. К их числу относятся системы телевизионной, спутниковой, микроволновой и радиосвязи. Тысячи таких систем уже установлены и успешно работают в различных странах мира. В настоящее время более 20-ти тысяч ирригационных систем на основе ФЭП используются для различных нужд. Десятки тысяч фотоэлектрических модулей используются для освещения и снабжения электричеством населения в отдаленных от промышленной электросети районах, где применение традиционных источников энергии экономически невыгодно из-за высокой стоимости доставки топлива и эксплуатации. ФЭП все шире применяются для коррозионной защиты магистральных трубопроводов, навигационных устройств, на железнодорожном и водном транспорте.

В 1990 г. мировое производство ФЭП превысило 53 мВт, что на 25% выше чем в 1989 г. Их стоимость превысила 300 млн. долларов. Как видно из таблицы I в 1990 г. темпы роста выпуска солнечных батарей оставались весьма высокими. Стоимость ФЭ модулей на мировом



рынке продолжала снижаться, достигнув 4-х долларов за 1 Вт. По мнению многих специалистов к середине 90-х годов цена 1 Вт. мощности усовершенствованных ФЭП на основе более дешевого кремния и автоматизации производства может снизиться до 2-3 долларов. Дальнейшее уменьшение стоимости до 1-го доллара за Вт. связывается только с тонкопленочными ФЭП. Однако в этой технологии еще немало принципиальных проблем, в первую очередь необходимо значительно повысить эффективность фотопреобразователя и стабильность параметров солнечных батарей(СБ).

В настоящее время стоимость электроэнергии в США, получаемой от ФЭП составляет 30 центов за 1 кВт/ч, что в четыре раза выше цены электроэнергии, продаваемой традиционными поставщиками потребителям. Однако в районах, где промышленная электросеть отсутствует, а локальные потребности не превышают 20 кВт., использование ФЭП уже сейчас является экономически целесообразным.

К числу стран, производящих ФЭП в промышленных масштабах относятся Австралия, Англия, Бельгия, Бразилия, ФРГ, Голландия, Италия, Испания, США и Япония. В 1989 г. США стали опять лидером мирового производства, обогнав Японию (см. таблицу 2); в 1990 г. эта тенденция усилилась.

Согласно последним планам Министерства энергетики США к 2000 г. производство ФЭП в этой стране должно достичь 1 ГВт в год, а в 1995 составить 50-100 МВт. Характерные параметры этой программы представлены в таблице 3. Еще более впечатляет прогноз ожидаемого производства ФЭП к 2030 г., которое может составить 160 ГВт или даже 480 ГВт для умеренного и ускоренного сценария развития фотоэлектрического направления энергетики.

Европейские страны также уделяют большое внимание роли ФЭП в современной энергетике. Рост производства СБ в Европе (см.табл.4) опережает прирост выпуска ФЭП в США и Японии. За три последних года их объем производства более чем удвоился с 4,2 МВт в 1986 г. до 8,7 МВт в 1989 г. Если эта тенденция сохранится, то уже в середине 90-х годов вклад стран ЕС в производство ФЭП обгонит долю, вносимую США и Японией

Принципиально новым фактором быстрого роста производства и внимания, уделяемого ФЭИ в странах Запада, является их экологическая чистота. Усилия, направленные на уменьшение загрязнения окружающей среды, связанного с ростом энергопотребления при использовании традиционных энергоносителей, могут самым серьезным образом изменить роль фотоэлектрического метода производства электроэнергии и обеспечить необычайно быстрое его развитие уже в ближайшей и средней перспективе.

II. Новые научно-исследовательские разработки

НИОКР занимают весьма существенное место в стратегии развития фотоэлектрической технологии. Определелись три основных направления этих разработок: ФЭП на основе объемного монокристаллического и поликристаллического кремния; тонкопленочная ФЭП на базе арсенида галлия, аморфного кремния, каскадные СБ из нескольких материалов, чувствительных к различным частям солнечного спектра и ФЭП с использованием концентраторов. Основные параметры этих приборов, полученные в лабораторных условиях и в условиях производства, вместе с характерными особенностями соответствующих технологий представлены в табл. 5. Предельно допустимые расчетные значения эффективности преобразования различных ФЭП представлены в табл. 6.

В настоящее время еще трудно отдать предпочтение одному из этих направлений. По мнению ведущих специалистов до конца этого столетия производство ФЭП для наземного применения будет в основном базироваться на кремниевой технологии. Вместе с тем ясно, что объемные полупроводниковые материалы типа моно или поликристаллического кремния не в состоянии обеспечить предполагаемый бурный рост масштабов производства ФЭП и только тонкопленочная технология, которая может быть полностью автоматизирована, сможет стать базой ФЭП нового поколения, суммарная мощность которых будет достигать десятки и сотни ГВт.

Маловероятно, что системы с концентраторами солнечного излучения имеют большую перспективу, что связано с высокой стоимостью концентраторов и их недостаточной надежностью. Однако для отдельных задач, в частности, солнечных станций в космических условиях, третий подход может также найти свое место.

Неоспоримые достижения НИОКР, полученные в лабораторных условиях хорошо видны на рис. I, где представлено изменение эффективности преобразования солнечного излучения ФЭП различного типа за последние 12 лет. Хотя приведенные результаты вселяют оптимизм, параметры выпускаемых ФЭП промышленностью все еще значительно уступают рекордным результатам.

К числу заслуживающих внимания результатов НИОКР следует отнести:

1) Американская фирма **Selorex** объявила о создании технологии производства тонкопленочных ФЭП большой площади 900 см^2 на основе аморфного кремния $a\text{-Si}$. ФЭП состоит из трех материалов (каждый толщиной 1 мкм), последовательно наносимых на подложку. Верхний слой представляет собой соединение $a\text{-Si}$, чувствительное к голубой части солнечного спектра. Средний слой соответствует $a\text{-Si}$, а нижний с хорошей чувствительностью к длинноволновому излучению представляет собой соединение $a\text{-SiGe}$.

Существенно, что получаемые в полностью автоматизированной установке ФЭП отличаются сравнительно низкой деградацией своих характеристик (эффективность преобразования после 1 года испытаний упала лишь на 10%). По мнению фирмы промышленное внедрение новой технологии позволит значительно снизить стоимость тонкопленочных ФЭП. В дальнейшие планы изготовителя входит повышение КПД фотопреобразования до 12%. Соответствующая НИОКР, рассчитанная на 3 года, финансируется Министерством энергетики.

2) Известная в микроэлектронике фирма **Varian** (США) изготовила опытную линию по производству ФЭП на основе полупроводниковых соединений A_3B_5 с эффективностью фотопреобразования более 20%. Приборы, площадью 4 см^2 создаются методом газовой эпитаксии с использованием металлоорганических соединений. Структура получаемых ФЭП приведена на рис. 2. Характерно, что 92% из 34 испытанных ФЭП имели КПД более 20%, у некоторых этот параметр достигал значений 22%.

Несмотря на высокую стоимость полученных батарей фирма надеется, что оптимизация технологии и увеличение масштабов производства в будущем приведет к значительному снижению цены ФЭП.

3) Ученые хорошо известной фирмы **Boeing** (США) разработали технологию производства двухкаскадных ФЭП с рекордной эффективностью преобразования 37%. Фирма считает, что помимо применения этих батарей в условиях космоса, полученные ФЭП могут найти применение в наземной энергетике. Разумеется и в этом случае необходимо будет использовать систему концентраторов, сравнительно высокая стоимость которых

будет компенсирована рекордным КПД процесса фотопреобразования. Предлагаемая структура состоит из двух слоев - арсенида галлия и антимонида галлия GaAs/GaSb

4) Фирма Spice Corp. (США изготовила солнечную батарею из фосфида индия размером 4 см^2 и рекордной эффективностью для этого материала, равной 19,5%. Для этого использовался метод газовой эпитаксии с использованием металлоорганических соединений. Ожидается, что получаемые ФЭП будут обладать гораздо более высокой устойчивостью к радиационному облучению.

5) Сотрудники исследовательского института солнечной энергии SERI (США) разработали способ получения монолитной двухслойной солнечной батареи, состоящей из фосфида индия и тройного соединения индий-галлий-мышьяк, чувствительные к разным частям солнечного спектра. С ростом концентрации падающего излучения заметно растет эффективность ФЭП, при интенсивности в 50 солнц КПД достигает 31,8% в наземных условиях и 28,9 в космосе. По мнению фирмы КПД ФЭП может быть улучшен в ближайшем будущем после выполнения запланированной НИОКР.

6) По-видимому, наибольший интерес в области НИОКР представляет достижения хорошо известной в области микроэлектроники корпорации Texas Instrument (TI), которая разработала принципиально новый метод создания солнечных батарей на основе кремния. По мнению ряда специалистов для технологии ФЭП это достижение по своей значимости эквивалентно появлению интегральных схем в современной твердотельной электронике.

В результате 6 лет упорной работы сотрудники фирмы создали фотоэлектрические модули, состоящие из огромного числа монокристаллических кремниевых шариков диаметром 75 мкм на перфорированной алюминиевой фольге. На подложке размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ умещаются 17 000 сферических батареек, касающихся друг друга.

Исходным продуктом таких ФЭП является металлургический кремний, стоимость которого 2-4 доллара за кг, что значительно ниже цены традиционного "солнечного кремния" (10-40 долларов за кг). Для производства монокристаллических шариков из расплава металлургического кремния, по-видимому, используется модифицированный Шотт (Schott) процесс, применяемый в сталелитейной промышленности.

Полученная сейчас уже эффективность новых ФЭП составляет 8-10%, а стоимость фотоэлектричества может достичь 14 центов за кВтчас (великолепный результат).

Фирма ti совместно с калифорнийской фирмой *Boison* объявила о строительстве опытного завода по производству ФЭ модулей мощностью 1 МВт. Очевидно, что если ожидаемые параметры новой технологии оправдаются, в производстве ФЭП произойдет событие огромной важности, которое может послужить толчком к массовому производству ФЭП нового поколения.

Завершая этот раздел обзора, отметим, что в последние годы в США основное финансирование научно-исследовательских и проектных разработок осуществляется не из федерального бюджета, а промышленными фирмами. Их ежегодные субсидии составляют 100 млн. долл.

III. Производство ФЭП

Как уже отмечалось, мировое производство ФЭП в 1990 г. выросло на 25% по сравнению с предыдущим годом. Характерно, что хотя список ведущих производителей солнечных батарей не изменился (см. таблицу 7), на рынке появились новые фирмы, готовые уже в ближайшем будущем сыграть важную, если не определяющую роль в коммерциализации и бурном росте производства ФЭП (эти фирмы приведены в таблице 8 вместе с их готовностью к промышленному выпуску). Существенно, что в их числе такие мощные корпорации, как Boeing, Texas Instruments, Mobil, входящие в число 500 крупнейших фирм мира, которые способны осуществить весьма крупные инвестиции для организации массового производства ФЭП нового поколения. Их стоимость может в уже недалеком будущем обеспечить конкурентоспособность экологически чистых источников электроэнергии по сравнению с традиционными источниками.

Широкая поддержка новых источников энергии после аварии в Чернобыле со стороны населения и ряда правительств в Европе стимулирует быстрое развитие НИОКР и производства ФЭП в Германии, Италии, Франции, Голландии. В этом также активно участвуют такие гиганты промышленности, как Siemens, Royal Dutch/Shell. В итоге зафиксирован рост производства ФЭП в 1990 году на 25% и надежным потенциалом уже к середине 90-х годов поднять масштаб выпуска солнечных батарей в 2-3 раза.

Обращает на себя позиция администрации Буша в области стимулирования работ по ФЭП в США. Хотя инвестиции из федерального бюджета в 1991 финансовом году выросли только на 14 млн. долларов по сравнению с 1990 г., основные средства направляются не на НИОКР, а на коммерциализацию производства и стимулирование значительного роста его масштабов. Расчет строится на то, что даже при существующей технологии увеличение объема выпуска на порядок величин должно привести к снижению себестоимости продукта (в данном случае, ФЭП) в два раза. Учитывая, что потребности в СБ на много порядков выше существующего производства, можно ожидать, что целенаправленная политика правительства США сыграет здесь важную роль.

В этой связи пристального внимания заслуживают планы американской фирмы *Armstrong Engineers* в г. Атланта (США) за два года построить крупнейший в мире завод с объемом производства ФЭП 100 мВт в год, что в два раза превышает весь сегодняшний выпуск СБ в мире. За счет таких огромных масштабов руководители фирмы рассчитывают снизить уже в 1991 г. стоимость 1 Вт фотоэлектрической мощности до 3 долларов, а при выходе на проектное производство до 1 доллара. Время покажет, насколько эти планы реальны, однако, обоснованность такого подхода к проблеме в целом не вызывает сомнений.

В заключение этого раздела следует упомянуть информацию о создании совместного предприятия в СССР с американской фирмой *Energy Conversion Devices (ECD)* по организации выпуска современных ФЭП в нашей стране. Разумеется, этот шаг может сыграть важную роль в развитии технологии ФЭП для наземной энергетики. Вместе с тем следует иметь в виду, что фирма ECD на протяжении ряда последних лет испытывает значительные финансовые трудности, стоимость ее акций постоянно падает, несмотря на поддержку японских компаний, включая *Sanyo*, а ее президент *Mr. Ovshinsky* имеет невысокую репутацию в американском деловом мире.

IV. Заключение и рекомендации

Подводя итоги анализа состояния и тенденций развития технологии ФЭП, следует отметить:

1. Технология фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии продолжает устойчиво развиваться в индустриально развитых странах, занимая ведущее место среди различных новых и возобновляемых методов получения электроэнергии. Объем мирового производства ФЭП в 1990 г. вырос на 25% по сравнению с 1989 г.

2. Резко усилилось внимание к ФЭП в странах Западной Европы. Их вклад в производство солнечных батарей к середине 90-х годов может сравниться с выпуском ФЭП в США и Японии.

3. Достигнутый уровень эффективности фотопреобразования СБ в лабораторных условиях в ряде случаев близок к теоретическим пределам. Особенно это относится к технологии ФЭП на основе объемных материалов. В технологии тонкопленочных ФЭП остаются еще нерешенные проблемы, в частности, деградация параметров в процессе эксплуатации.

4. Ведущие страны считают, что уровень выполненных НИОКР может обеспечить уже в 90-х годах бурное развитие применения экологически чистых ФЭП в наземной энергетике. К 2030 году производимая мощность ФЭП может достигнуть сотен гигаватт, что составит значительную долю мирового энергобаланса.

5. В ближайшее время особое внимание будет уделено проблемам коммерциализации и организации массового производства ФЭП с целью значительного снижения их себестоимости и стимула для развития экологически чистой энергетике.

Для ликвидации отставания соответствующих работ в нашей стране по сравнению со странами Запада представляется целесообразным:

1. Разработать комплексную программу НИОКР и производства ФЭП для наземной и космической энергетике с привлечением заинтересованных ведомств (АН СССР, Минэлектронпром, Минметаллургия):

2. Организацию производства ФЭП нового поколения поручить предприятиям оборонного комплекса—НИО "Энергия" Минсредмаша и НИО "Квант" Минэлектротехпрома, обладающим необходимой инфраструктурой;

3. Установить прямые коммерческие связи с ведущими производителями ФЭП — фирмами *Siemens Solar* (Калифорния, США) и *Solorex Co.* (США), а также научно-исследовательским институтом солнечной энергии (США) и организовать посещение этих учреждений советскими специалистами.

4. Институту металлургии им. Байкова АН СССР поручить создание основ принципиально новой технологии производства ФЭП, аналогичной последней разработке фирмы *Texas Instruments*, с последующим внедрением на предприятиях Минэлектротехпрома.

Приложение: таблицы, графики на 3 стр.

Совсотрудник
Секретариата ООН



Э.М. Омеляновский
Доктор физ.-мат. наук,
профессор

6-МО
1-ИЗИТ СССР, 2-УЗЕНТО АН СССР, 3-АН СССР, 4,5 - дело, 28.06.91

Крымский
НА 807р

TABLE I

1989 WORLD MODULE SHIPMENTS BY CELL TECHNOLOGY

<u>CELL TECHNOLOGY</u>	<u>TOTAL (MW)</u>	<u>PERCENT</u>
Single Crystal Flat Plate	17.9	42.5
Polycrystal Silicon	10.75	25.5
Amorphous Silicon	13.1	31.1
Crystal Silicon Concentrators	0.30	0.7
Ribbon (Silicon)	<u>0.05</u>	<u>0.1</u>
TOTAL	42.10	100.0

1989 WORLD MODULE SHIPMENTS BY MARKET SECTOR

<u>APPLICATION</u>	<u>TOTAL (MW)</u>	<u>PERCENT</u>
Consumer Products	13.9	33.0
Commercial	24.2	57.5
Government	<u>4.0</u>	<u>9.5</u>
TOTAL	42.10	100.0





TABLE II

WORLD PV MODULE SHIPMENTS (CONSUMER AND COMMERCIAL.)

Country	1985		1986		1987		1988		1989	
	MW	%	MW	%	MW	%	MW	%	MW	%
U.S.	7.6	32.3	7.0	26.0	8.65	30.2	11.3	32.0	14.7	34.9
Japan	10.8	45.9	13.4	49.6	12.45	43.5	13.0	36.9	14.2	33.7
Europe	3.7	15.7	4.3	15.9	4.7	16.4	6.9	19.6	7.9	18.7
Rest of World	1.4	5.9	2.3	8.5	2.8	9.7	4.0	11.3	5.3	12.6
Total	23.5	99.8	27.0	100.0	28.6	99.8	35.2	99.8	42.1	99.9

Table III

Technology Status and Future Prospects for U.S. Photovoltaics

	Today (or 1990)	Mid-1990's (or 1995)	Future (or 2010-2030)
PV Technology			
Flat-Plate Crystalline Silicon	22-23% laboratory cells 11-13% commercial modules	25% laboratory cells 14-15% commercial modules	>27% laboratory cells >18% commercial modules
Flat-Plate Thin Films	12-14% laboratory cells 4-6% commercial modules	15-18% laboratory cells 8-10% commercial modules	>20% laboratory cells >15% commercial modules
Concentrators	27-32% laboratory cells 14-17% commercial modules	35% laboratory cells 18-20% commercial modules	>40% laboratory cells >25% commercial modules
Balance-of-Systems (BOS) Components	In engineering development; \$0.40/W power-related costs	Fully engineered \$0.20-0.30/W power-related costs	Large-scale production; -\$0.15/W power-related costs
Component Reliability	5-15 years for modules <5 years BOS components	15-20 years for modules >10 years BOS components	>30 years
PV Industry			
Module Manufacturing Capacity (MW/year)	15-20	50-100	>1000
Manufacturing Characteristics	0.5-5 MW lines Batch; labor-intensive	5-20 MW lines Partly automated	100-500 MW plants Fully automated
PV Systems and Markets			
Utility Power Systems (MW total)	10-15	50-100	10,000-50,000
Typical Systems/Electricity Price (¢/kWh)	Consumer; remote, stand-alone 25-50	Distributed; high-value utility applications 12-20	Central utility power with without storage 5-6

Table IV

EUROPEAN PV MODULE SHIPMENTS In MW

1986	4.2
1987	4.3
1988	6.4
1989	8.7
1990	10.5



TABLE V
Properties of Photovoltaic Cells



Type of Cell	Efficiency		Advantages	Disadvantages
	Laboratory record (%)	Production record (%)		
Thick Film				
Single-cell (monocrystalline) silicon	23.1	10-13	Well established/tested Stable Relatively efficient	Uses much expensive material Much waste in slicing wafers Costly to manufacture Round cells not efficiently spaced in modules
Polycrystalline silicon	18	10-12	Well established/tested Stable Relatively efficient Less expensive than single crystal Si Square cells for more efficient spacing	Uses much expensive material Much waste in slicing wafers Fairly costly to manufacture Slightly less efficient than single crystal
Polycrystalline silicon ribbon	15	—	Less Si waste High speed production potential Production/material benefits Could offset efficiency loss	Complex manufacturing process Somewhat lower efficiencies than Si
Thin Film				
Gallium arsenide	29.2		Highest theoretical efficiency Can operate at high temperature (thus useful for concentrations)	Very expensive Materials not abundant
Thin-film amorphous silicon	13.8	5-7	Very low material use Potential for highly automated/rapid production Potential for very low cost	Sunlight induced degradation
Multi-junction thin-film	20+		Stacks different cells leading to higher efficiencies	Not yet in production
Thin-film crystalline	10		Relatively high efficiency Less Si	Not yet in production
<u>concentrators</u>	25	15	Higher efficiency Lower cost cells	Not yet in production Excessive heat impairs efficiency Not as durable as flat plate Expensive sun-tracking system May be limited to locations with direct sunlight



TABLE VI
POTENTIAL PV CELL EFFICIENCIES

Cell Type	Achievable Efficiencies %
Single-Crystal Silicon	25
Single-Crystal Silicon Concentrator	29
Polycrystal Silicon	22
Ribbon Silicon	20-25
Amorphous Silicon	15-18
Multi-Junction Thin Films	
Amorphous Si/CuInSe ₂	20-25
CdTe/CuInSe ₂	25-30
GaAs/CuInSe ₂	25-30
Amorphous Si Stacked	18-20

TABLE VII
LEADING PV MANUFACTURERS - 1989

<u>Company</u>	<u>Technology</u>	<u>Country</u>	<u>Module Shipments (MW)</u>
Arco Solar/Siemens	Crystalline/Amorphous	U.S.	7.0
Solarex Corp.	Polycrystalline/Amorphous	U.S.	5.0
Sanyo Electric	Amorphous	Japan	4.8
Kyocera	Polycrystalline/Amorphous	Japan	2.5
CEL	Crystalline	India	1.6
Taiyo Yuden	Amorphous	Japan	1.5
BP Solar	Crystalline/Polycrystalline	U.K.	1.4
Telefunken	Polycrystalline	West Germany	1.2
Hoxan Co.	Crystalline	Japan	1.0
Sharp	Crystalline/Amorphous	Japan	1.0
Solec International	Crystalline	U.S.	0.9
Helios Technology	Crystalline	Italy	0.8
Ital Solar	Polycrystalline	Italy	0.8
Photowatt	Polycrystalline	France	0.8
Solarex Australia	Polycrystalline	Australia	0.8
Chronar U.K.	Amorphous	Wales	0.7
Chronar France	Amorphous	France	0.7
Chronar	Amorphous	U.S.	0.5
Heliodinamica	Crystalline	Brazil	0.5
Sovonics	Amorphous	U.S.	0.5
REIL	-	-	0.5
UDTS/HCR Algiers	-	Algiers	0.5
RES	-	-	0.4
Siemens A.G.	Crystalline	West Germany	0.4
Isophoton	Crystalline	Spain	0.3
Nippon Electric	Crystalline	Japan	0.3
Entech	Concentrators	U.S.	0.3
Bharat	Crystalline/Amorphous	India	0.3
Venergia	-	Venezuela	0.3
Astropower	Polysilicon	U.S.	0.3
Fuji Electric	Amorphous	Japan	0.1
Mobil Solar	Ribbon Silicon	U.S.	0.05



Materials Cell Efficiency Growth Charted

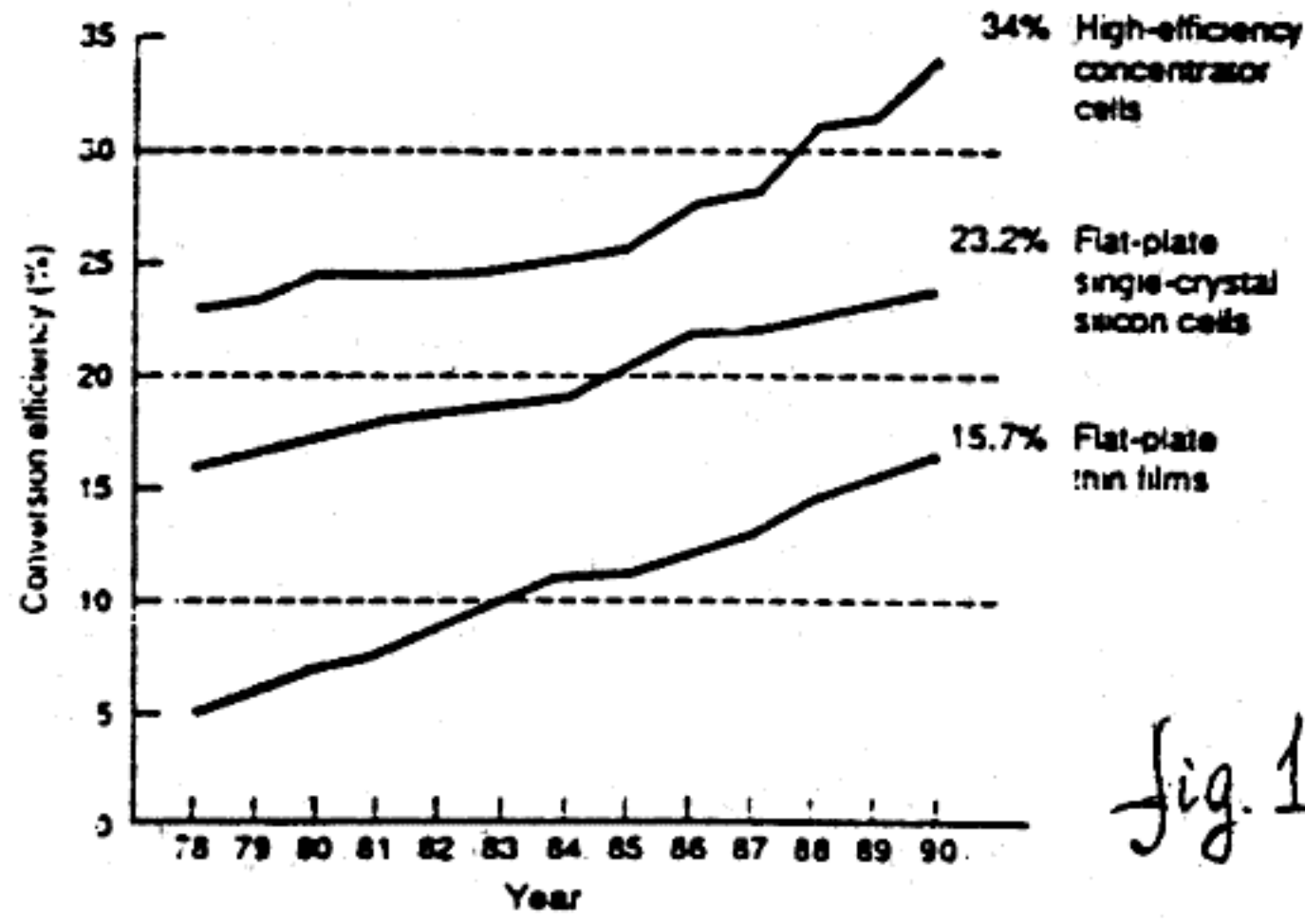


fig. 1

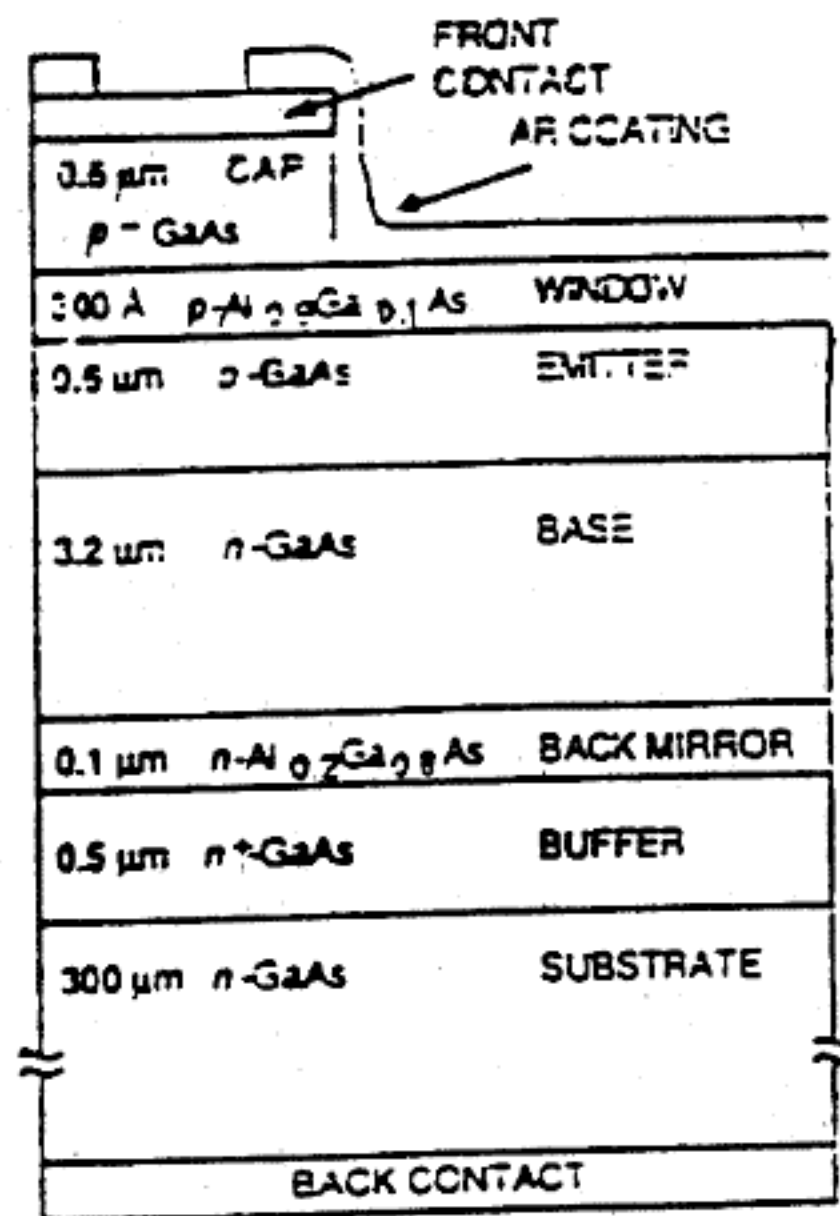


fig. 2





АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ВНЕШНИХ СВЯЗЕЙ

117901, ГСП-1, Москва, В-71.
Ленинский просп., 14.
Тел. 232-29-10

ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТУ АКАДЕМИИ
НАУК СССР
академику КОПТЮГУ В.А.

12 08 91 10107 6 42

На № _____

Глубокоуважаемый Валентин Афанасьевич!

Направляем Вам для ознакомления аналитический обзор "Состояние и тенденции развития работ в области фотоэлектрических преобразователей для наземной энергетики", подготовленный экспертами Постпредства СССР при ООН.

В случае Вашей заинтересованности можем представить дополнительные материалы по данной тематике, которыми располагает Отдел информации ГУВС АН СССР.

Зам. начальника Главного управления
внешних связей АН СССР

Д. Д. СЕМЕНОВ

