

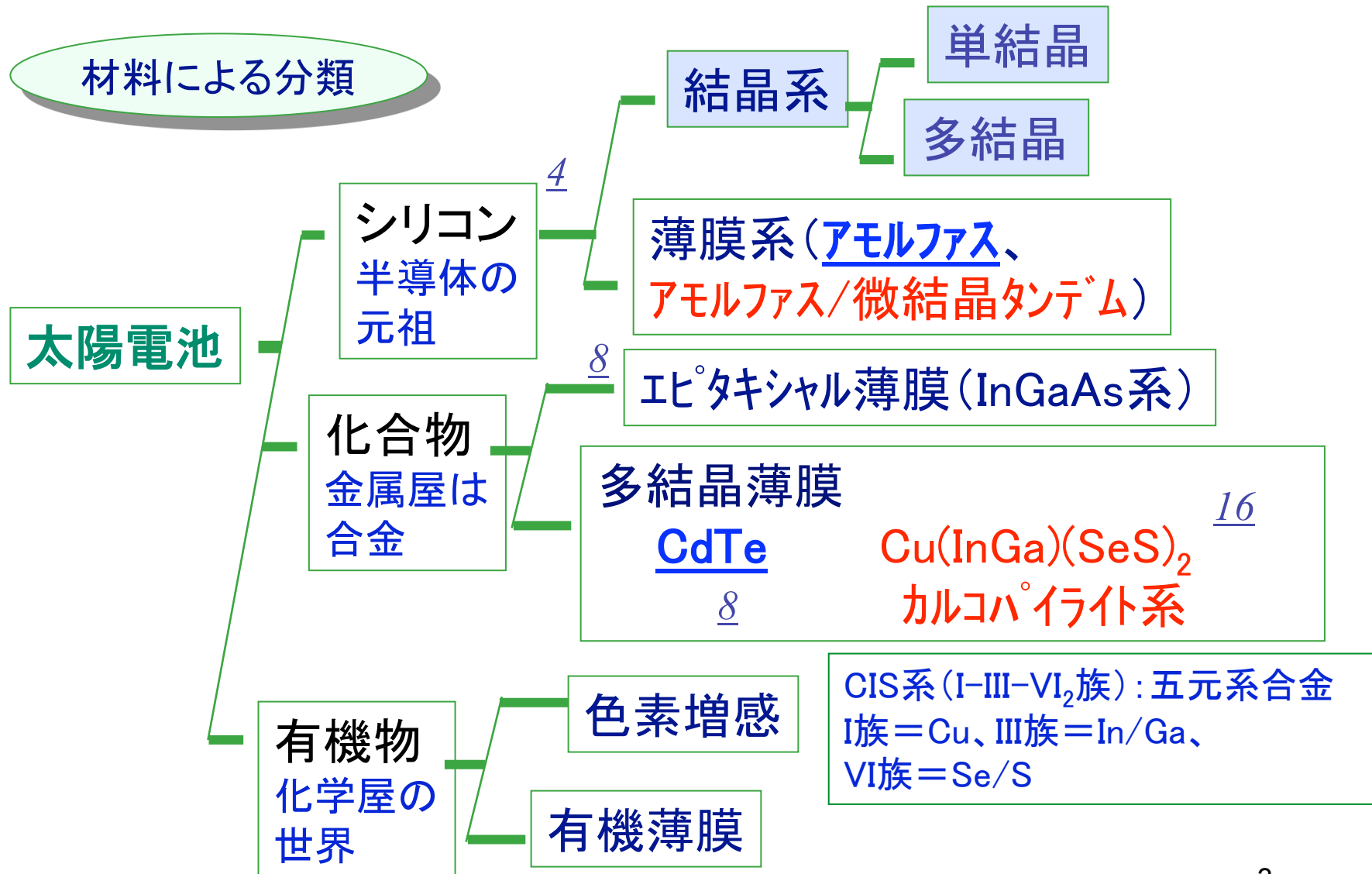
ギガワット時代の CIS系薄膜太陽電池

昭和シェル石油(株)
ソーラーフロンティア(株)
櫛屋 勝巳

発表内容

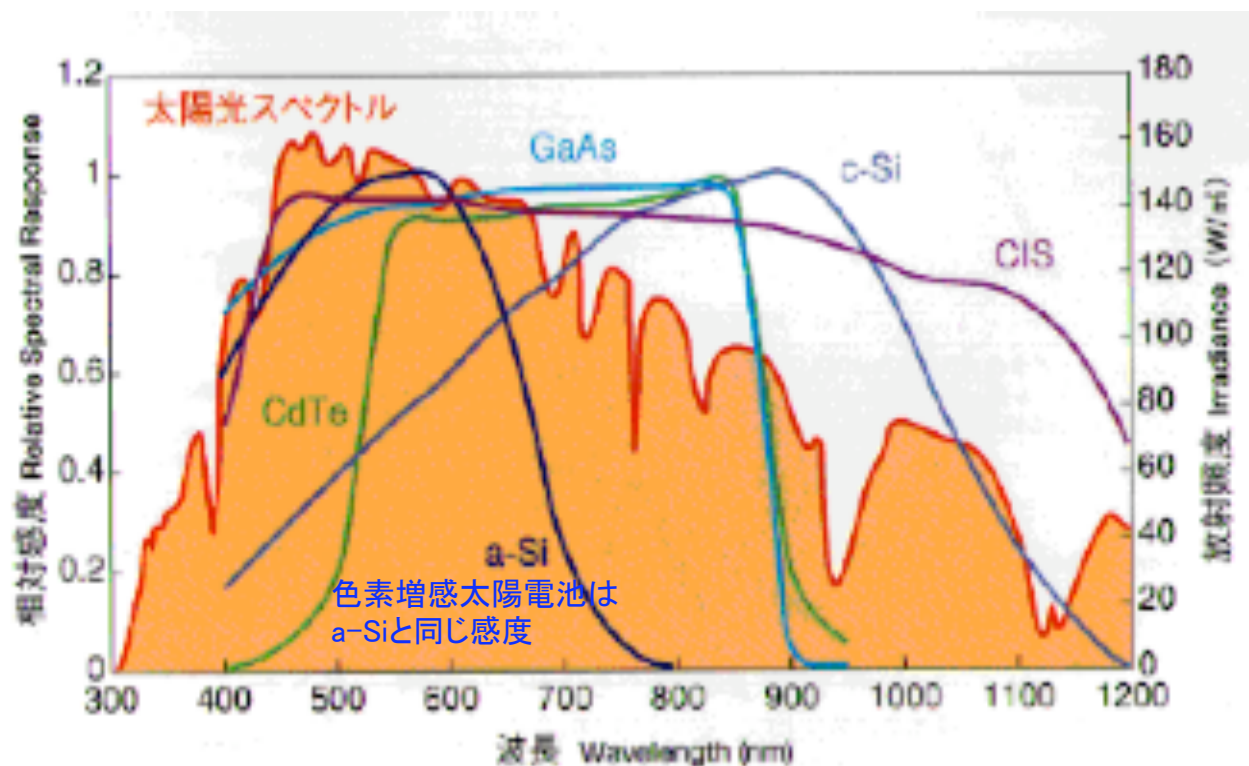
- 1) 太陽電池とは？
- 2) 薄膜太陽電池としてのCIS系
- 3) 「環境の時代」の太陽電池
- 4) まとめ

太陽電池の分類



薄膜太陽電池のスペクトル感度特性の比較

CISはまだ出力測定法に関する国際規格が決定されていない。そのため、結晶系Si太陽電池セルを基準セルにして測定される。その結果、ソーラーシミュレーター(人工擬似太陽光源)による測定では1100nm以上の長波長域での出力にロスが出る。屋外ではその分出力が増加する。



「光吸収係数が大きい」材料であること — 薄膜太陽電池作製の必要条件

CIS系カルコパイライト型半導体

1) 光吸収係数

: 半導体の中で最大

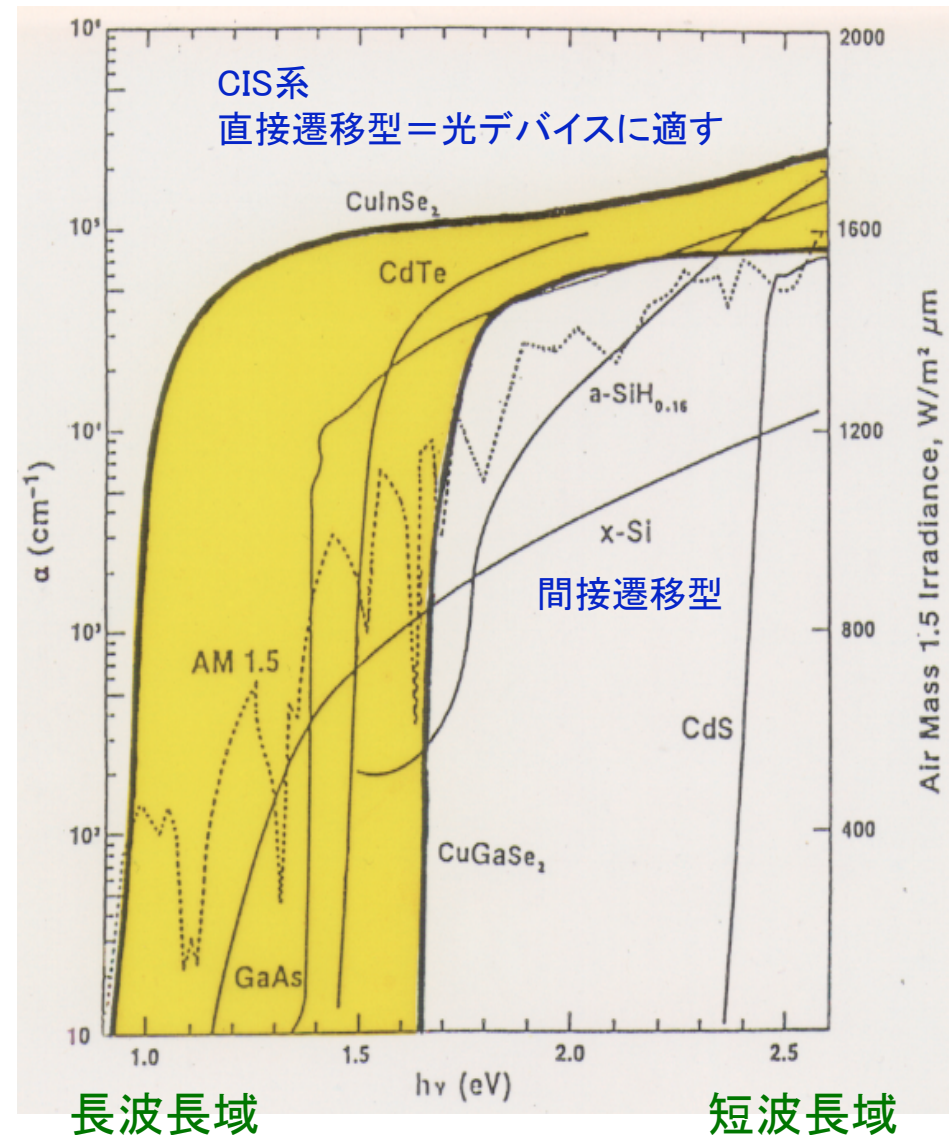
— $\alpha = 1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 程度

2) 直接遷移型半導体

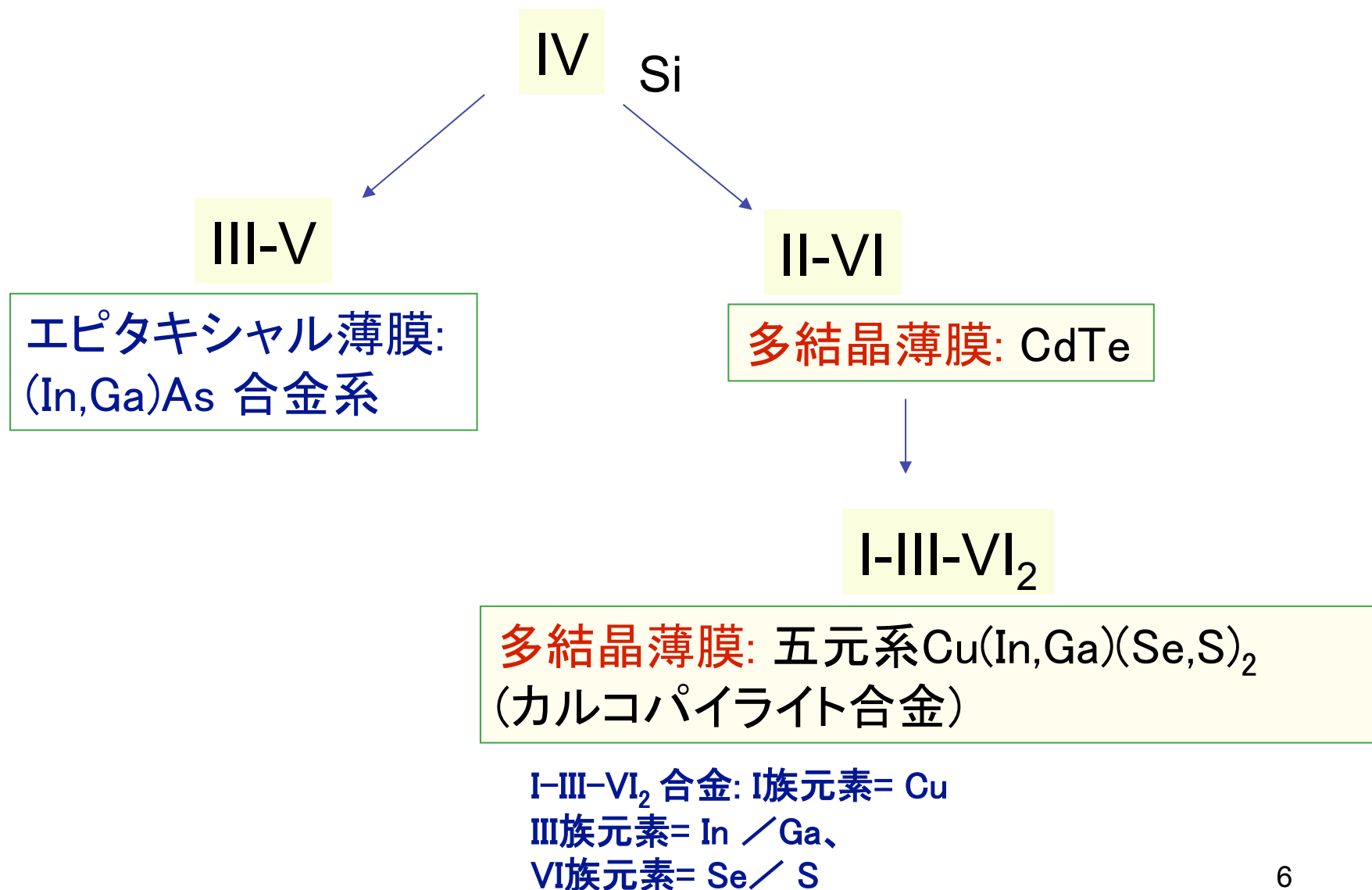
: 光デバイスに適す

参考: 結晶Si: 間接遷移型半導体

⇒ 原理的には、
厚さ $1 \mu\text{m}$ 以下の薄膜で、
高効率太陽電池が作れる。



1個から複数へ(複雑化、多元化)



太陽光発電技術の進化 —NEDO PV R&Dの歴史

NEDO事業

・サンシャイン計画
⇒ シャープ、京セラの事業化

第1世代太陽電池「結晶系Si」

単結晶Si⇒多結晶Si

宇宙での発電用⇒地上での発電用の中心

・サンシャイン計画
・ニューサンシャイン計画
⇒ 富士電機、三洋電機、カネカ、
シャープの事業化と松下電池の撤退

薄膜第1世代

(NEDOが最も資金(税金)を投入した技術分野)

「アモルファスSi太陽電池、CdTe太陽電池」

地上での発電用、普及は苦戦続きであったが、
2005年以降、ドイツを中心とした欧州で復活

・ニューサンシャイン計画__後期
・先進太陽電池技術開発
・未来技術研究開発
⇒ 昭和シェル石油、カネカ、
三菱重工業の事業化

薄膜第2世代(次世代)

「CIS系薄膜太陽電池、アモルファスSi太陽電池／多結晶Si薄
膜タンデム構造太陽電池」

・革新的次世代太陽電池技術開発
・未来技術研究開発

薄膜第3世代

「色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池」

Better & Cheaper : 終わることのないR&D目標

第1世代太陽電池__「結晶系Si」

単結晶Si⇒多結晶Si

宇宙での発電用⇒地上での発電用の中心

薄膜第1世代__

(NEDOが最も資金(税金)を投入した技術分野)

「アモルファスSi太陽電池、CdTe太陽電池」

地上での発電用、普及は苦戦続きであったが、
2005年以降、ドイツを中心とした欧州で復活

薄膜第2世代(次世代)__

「CIS系薄膜太陽電池、アモルファスSi太陽電池／多結晶Si薄膜タンデム構造太陽電池」

薄膜第3世代__

「色素増感太陽電池、有機薄膜太陽電池」

大命題:コスト削減

Grid parity

太陽電池技術開発の動き

太陽電池用Si の供給量不足、ドイツでのFIT制度施行後

先進国の動き

(1) 結晶系Si太陽電池技術では、

1) 「安かろう・悪かろうのSOG-Si原料」から“高性能な”(単結晶並み?)太陽電池セルを製造する技術開発。
2) ウェハの薄型化: スライシング技術の開発(250ミクロンから180ミクロン厚さへ、さらに薄型化へ)。

(2) 「Siを使わない」薄膜太陽電池技術の事業化。

アモルファスSi太陽電池⇒CdTe太陽電池⇒CIS系薄膜太陽電池の登場。

新興国の動き: 特に、中国メーカーは...

1) 単結晶Siインゴットの引き上げ。

2) 1980年代の垂直統合型ビジネスモデルへの回帰。

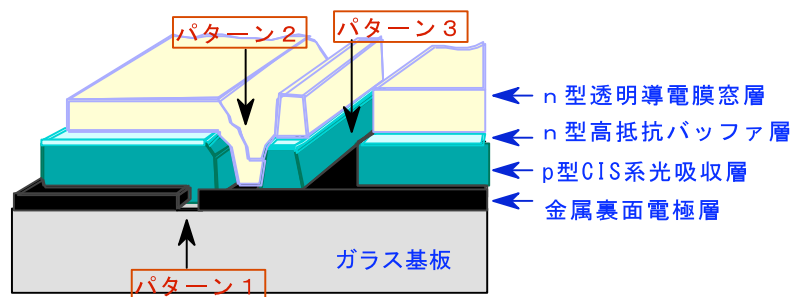
3) 技術的ハードルの高い多結晶Si太陽電池セルではなく、ハードルの低い単結晶Si太陽電池セルによる高効率化を指向。

発表内容

- 1) 太陽電池とは？
- 2) 薄膜太陽電池としてのCIS系
- 3) 「環境の時代」の太陽電池
- 4) まとめ

CIS系薄膜太陽電池の構造

—集積構造

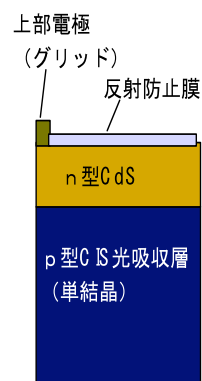


集積構造のCIS系薄膜太陽電池サーキット

- ◆ デバイス厚さ = $3\mu\text{m}$ 程度 (基板を除く)
- ◆ 3種のパターニングで集積構造形成

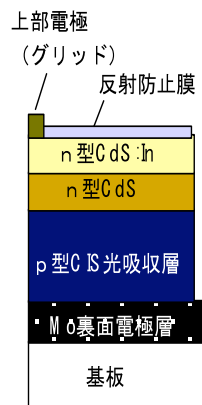
「薄膜CISの時代」を切り拓いたパイオニア企業

n型高抵抗バッファ層がデバイス構造を変えた。



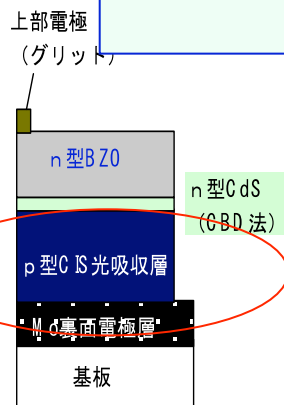
1970年代

CIS光吸収層は単結晶、
n型CdSは真空蒸着法で
製膜



1980年

Boeing: 真空蒸着法でn型CdS窓
層製膜、CIS光吸収層製膜はボー
イニング法 (350°CでCu過剰組成の
CIS層を製膜し、その後、450°Cに
昇温し、In過剰組成のCIS層を製
膜することで、均一な組成のCIS
光吸収層を形成)



1985年

ARCO Solar Inc.: 溶液成長法
(CDB法)で薄膜のn型CdS
バッファ層を製膜、MOCVD法
でn型BZO窓層を製膜、CIS光
吸収層は「セレン化法」で作製

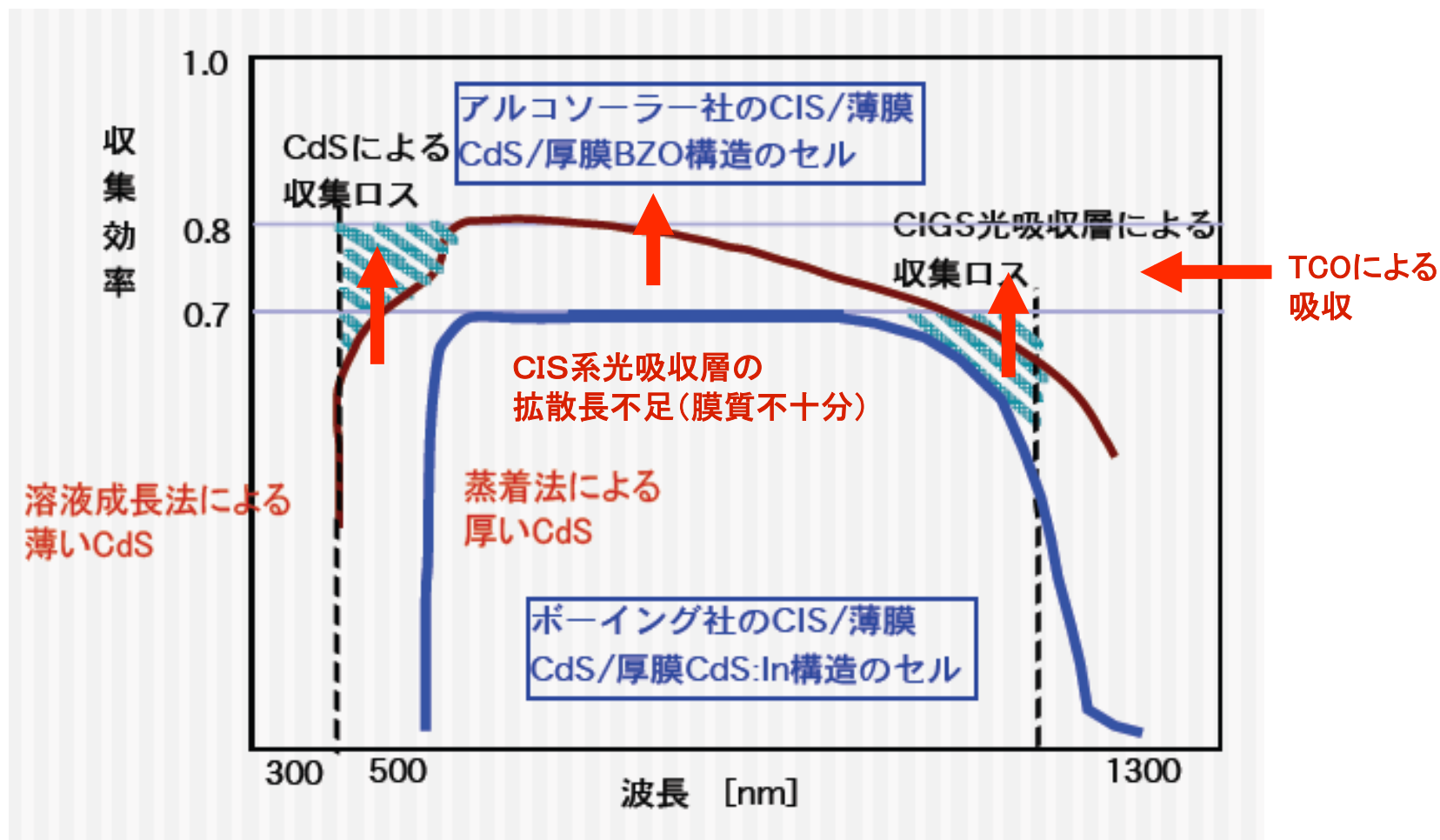


14.1% (3.2cm²、1988年)

n型薄膜層の変更で、デバイス特性向上

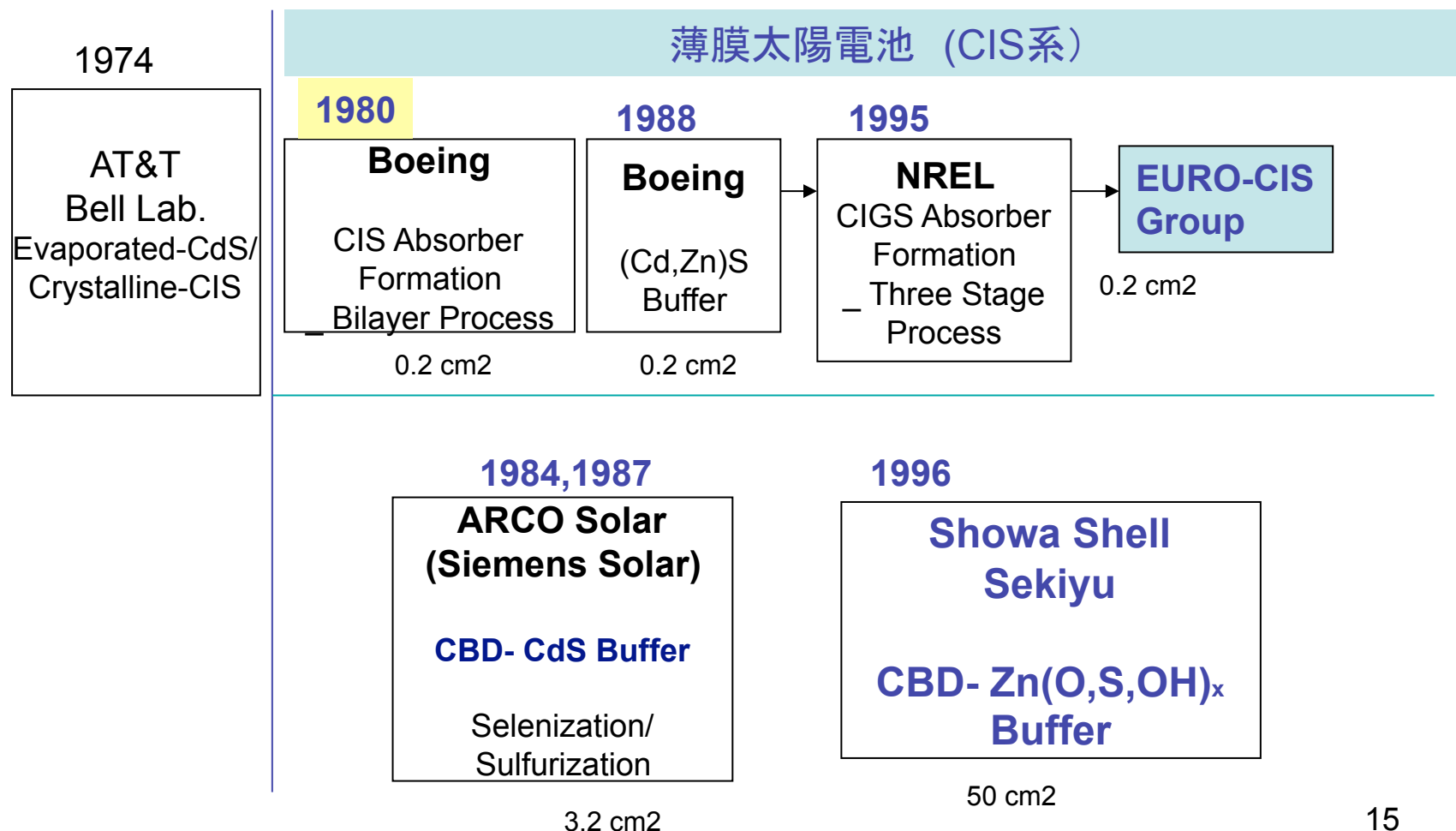
CBD-CdSバッファ層+MOCVD-BZO透明導電膜

ARCO Solar社: 1988年=14.1% (3.2cm²サイズ)、10% (30cm角サイズ) 達成



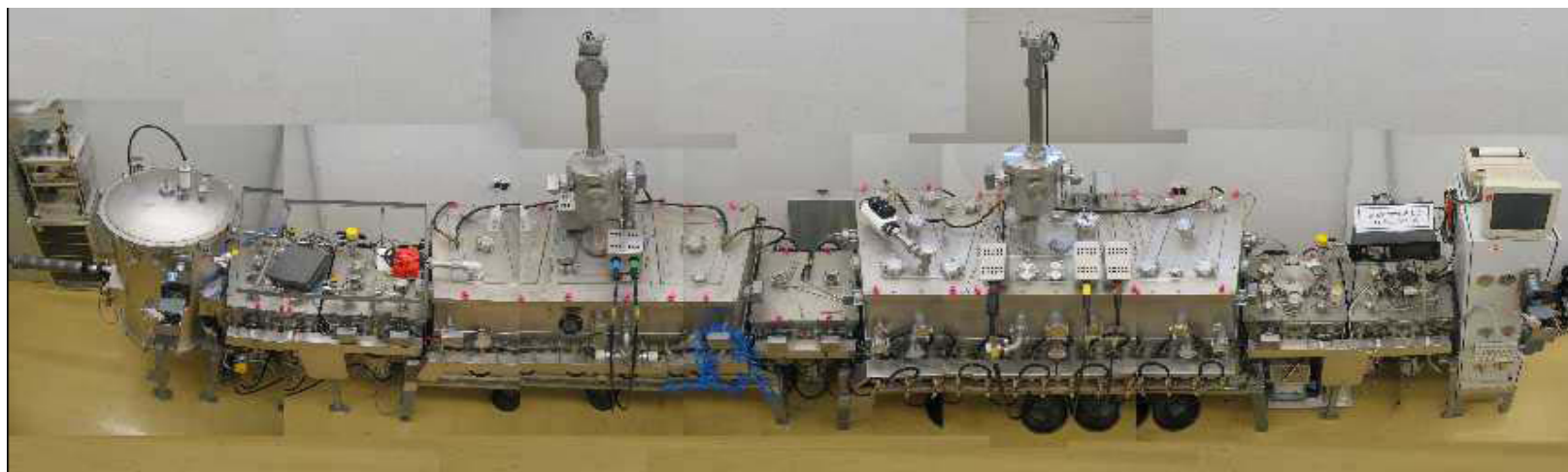
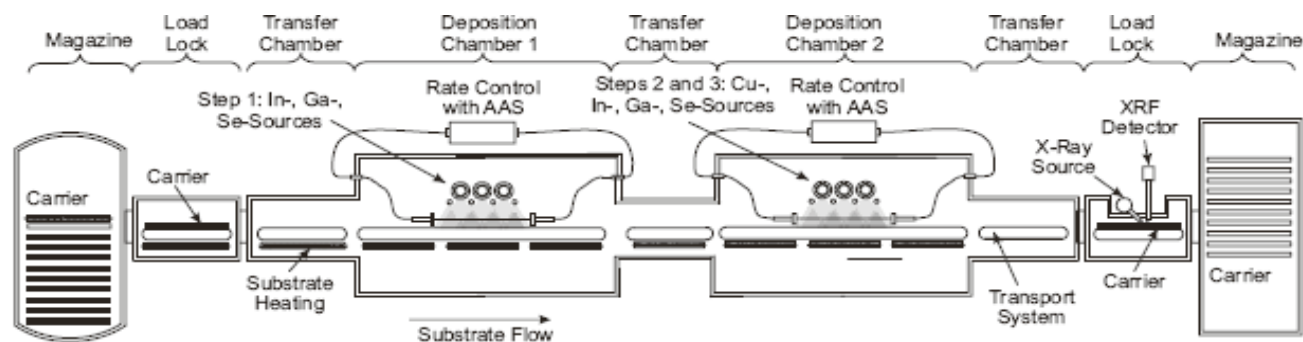
その後の技術開発を先導した発明特許

(出典:平成20年度特許動向調査報告(太陽電池)から
特許庁発行、平成21年4月)



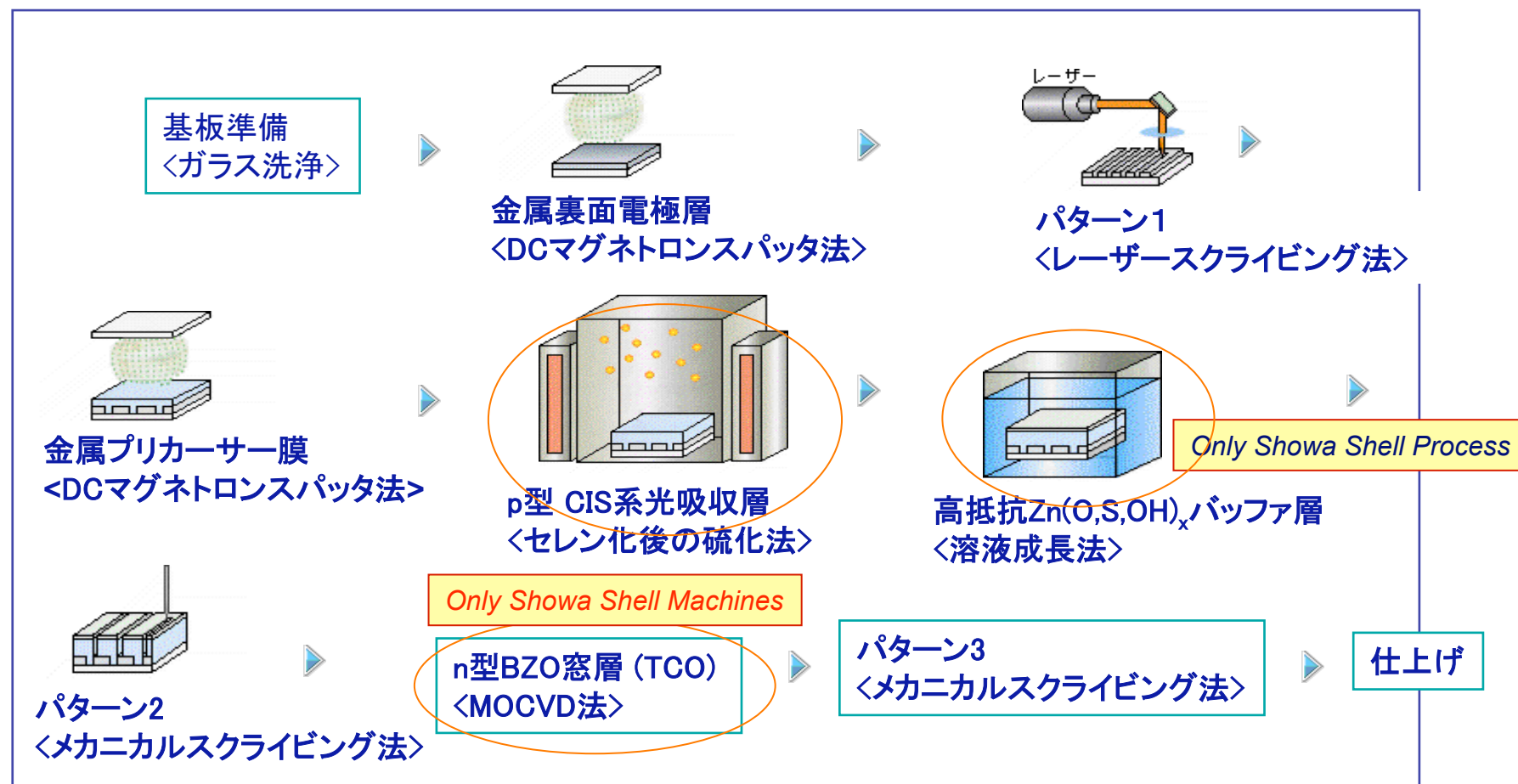
ZSW Two-step in-line machine

__三段階法の実現に向けて



M. Powalla, "The R&D potential of CIS thin-film solar modules". Proc. 21 EUPVSEC (2006) 1789.

昭和シェルのベースラインプロセス



CIS系薄膜太陽電池サーキットのモジュールリングは、結晶系Si太陽電池セルのモジュールリング技術を適用

J_{sc}の向上

Zn(O,S,OH)_xバッファ層
使用による

Showa Shell

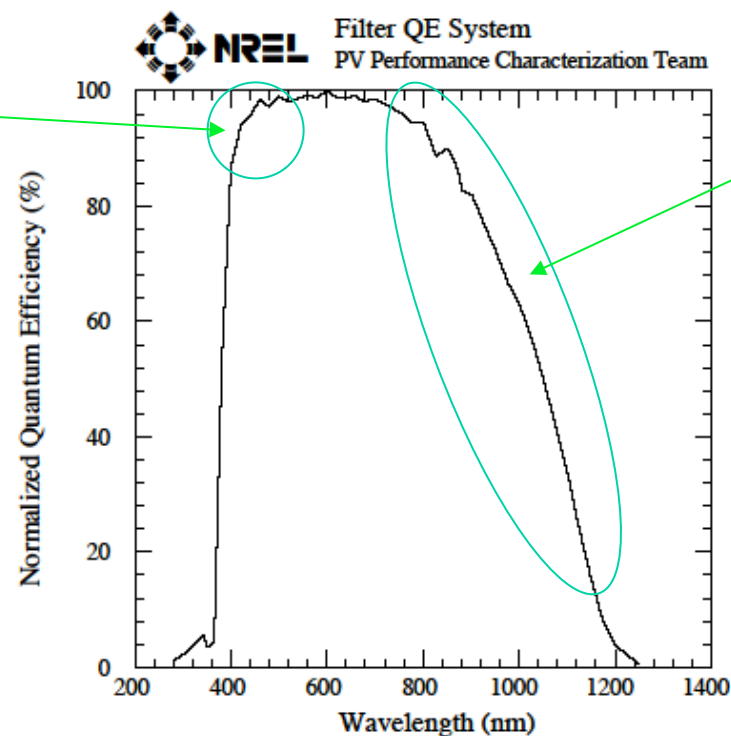
Zn(O,S,OH)_x buffer/Cu(InGa)(SSe)₂ module

Device ID: 8M-381

Sep 13, 2001 12:03 PM

Device Temperature: 25.0 ± 1 °C

Device Area: 856.8 cm²



グレーデッドバンドギャップ
構造のためテールを引い
た曲線になる__長波長側
まで透過率が必要

Voltage Bias: 0.0 V

Light bias for 23.6 mA

Light Bias region area: 49.00 cm²

Light Bias Density: 0.4810 mA/cm²

similar to 13.4% module 8N8486198240

CIS系薄膜太陽電池の製造プロセス

企業名	p 型 光吸収層	n 型高抵抗バッファ層	n 型窓層	基板
Global Solar Energy	多源同時蒸着法 CIGSe ₂	CBD-CdS	スパッター-AZO	ステンレス鋼箔
Würth Solar				ガラス
Solibro				
Bosch Solar CISTech	SAS法 CIG(SeS) ₂			
AVANCIS	RTP-セレン化・硫化同時法 CIG(SeS) ₂			
ホンダソルテック	セレン化法 CIGSe ₂	CBD-In(S,OH) _x	MOCVD-BZO	
ソーラーフロンティア	SAS法 CIG(SeS) ₂ /CIGSe ₂	CBD-Zn(O,S,OH) _x		

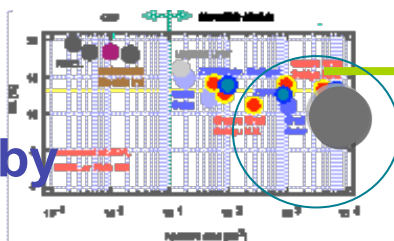
商業化に向けた技術移転

R&D	Transition	Commercialization
Stuttgart Univ. ==>	ZSW ==>	Würth Solar
Uppsala Univ. ==>	Solibro AG ==>	Solibro (Q-Cells)
Johannesburg Univ. ==>		Johanna Solar (Bosch Solar CISTech)
NREL ==>		Global Solar Energy (Solon), Miasole, Nanosolar, Stion, and more
Hahn Meitner Institute (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie)	==>	Sulfurcell
[ARCO Solar] ==>	[Siemens Solar Ind.] ==>	[Shell Solar GmbH] ==> AVANCIS
Showa Shell Sekiyu	==>	Solar Frontier
Honda Engineering	==>	Honda Soltec

産と学の役割分担

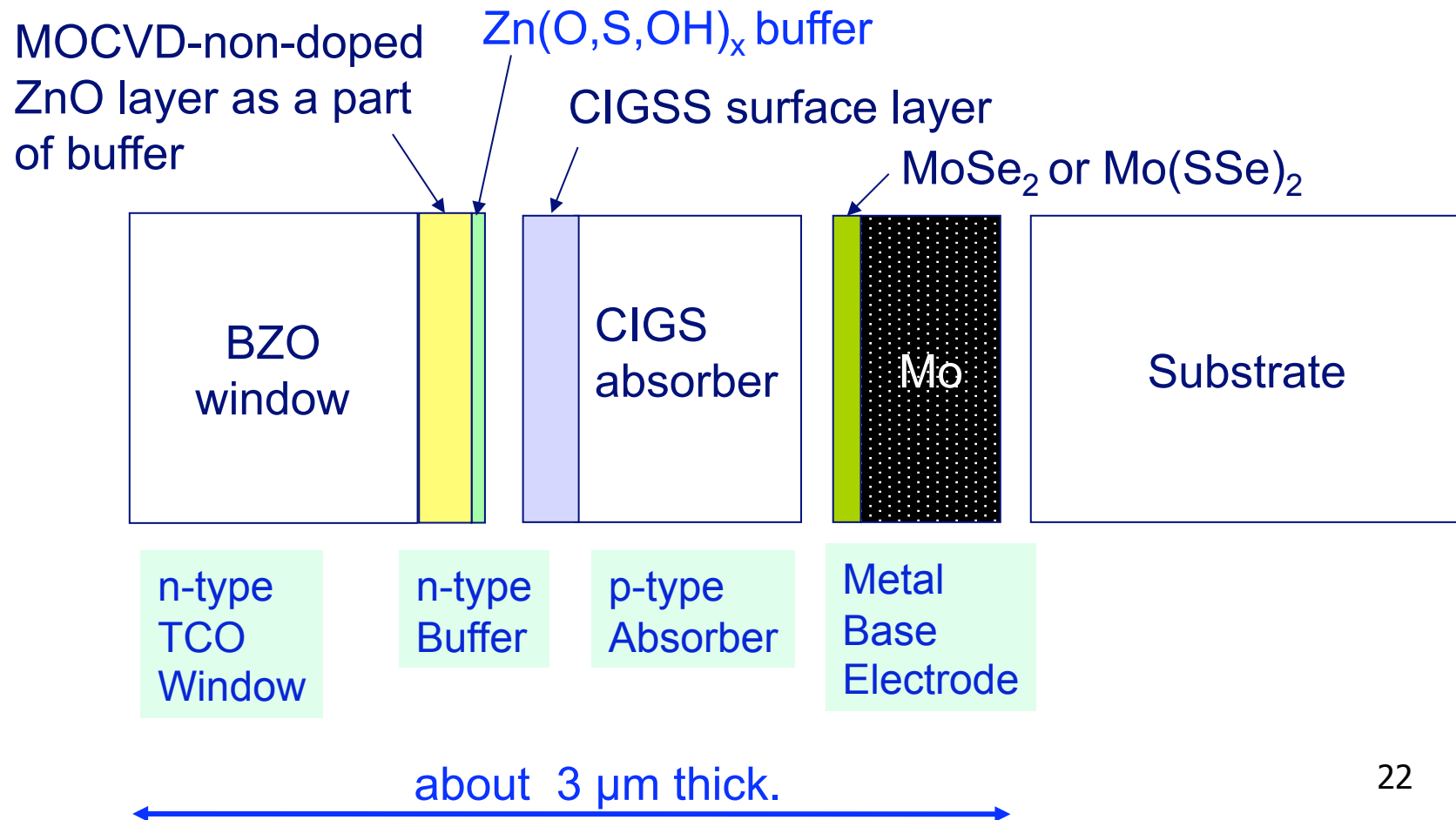
- Academia: demonstrate the potential of the materials excellence on a small-area solar cell.
- Industry: improve the global competitiveness on a product.

20% Cell efficiency demonstrated by NREL (20.0%, 2008) and ZSW (20.3%, 2010).



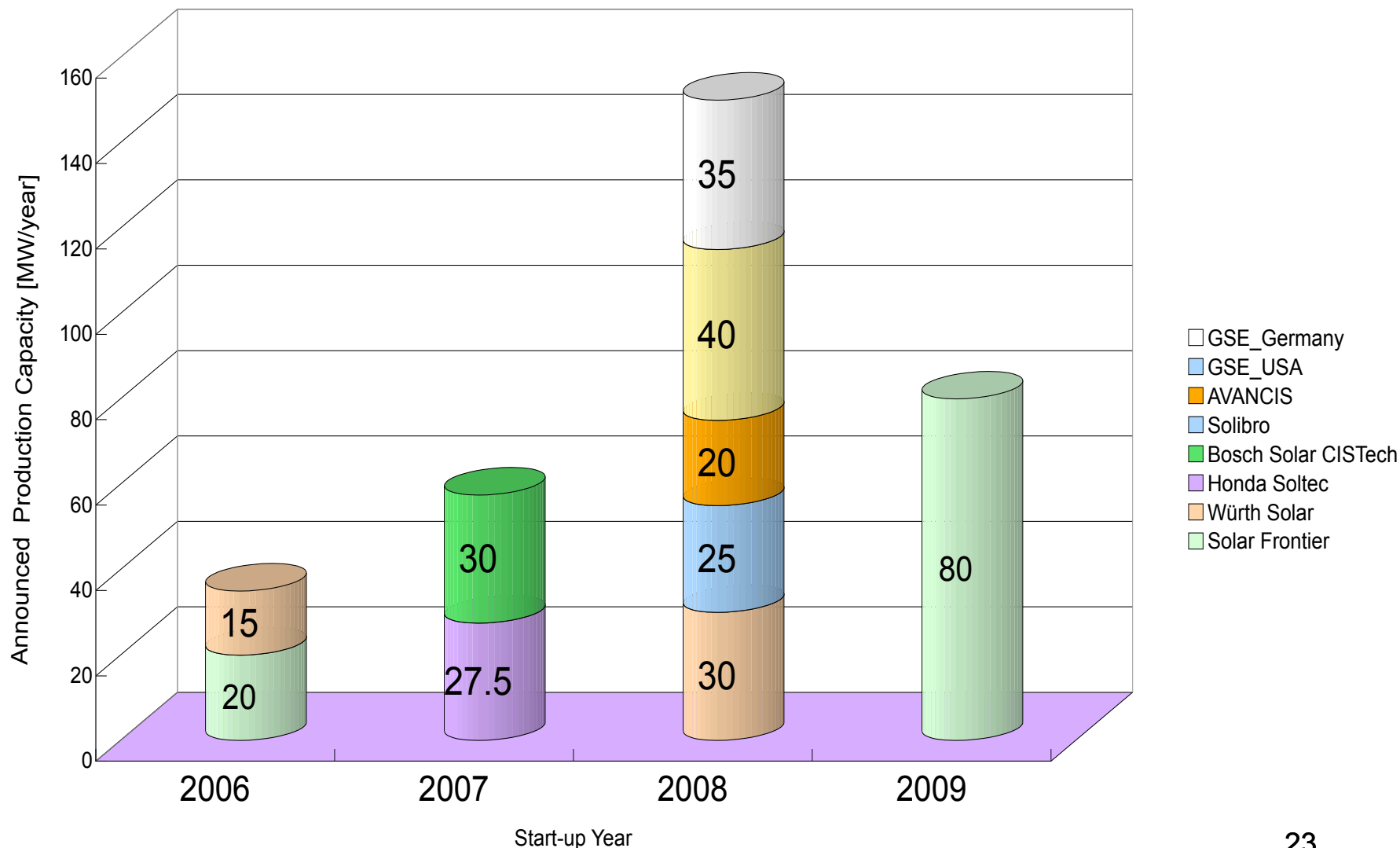
16% Module efficiency race. Solar Frontier is the top runner.

Device Structure



各社の生産規模(発表ベース)

実情はまだ、R&Dから製造への移行期(Production R&D)、日本がリード



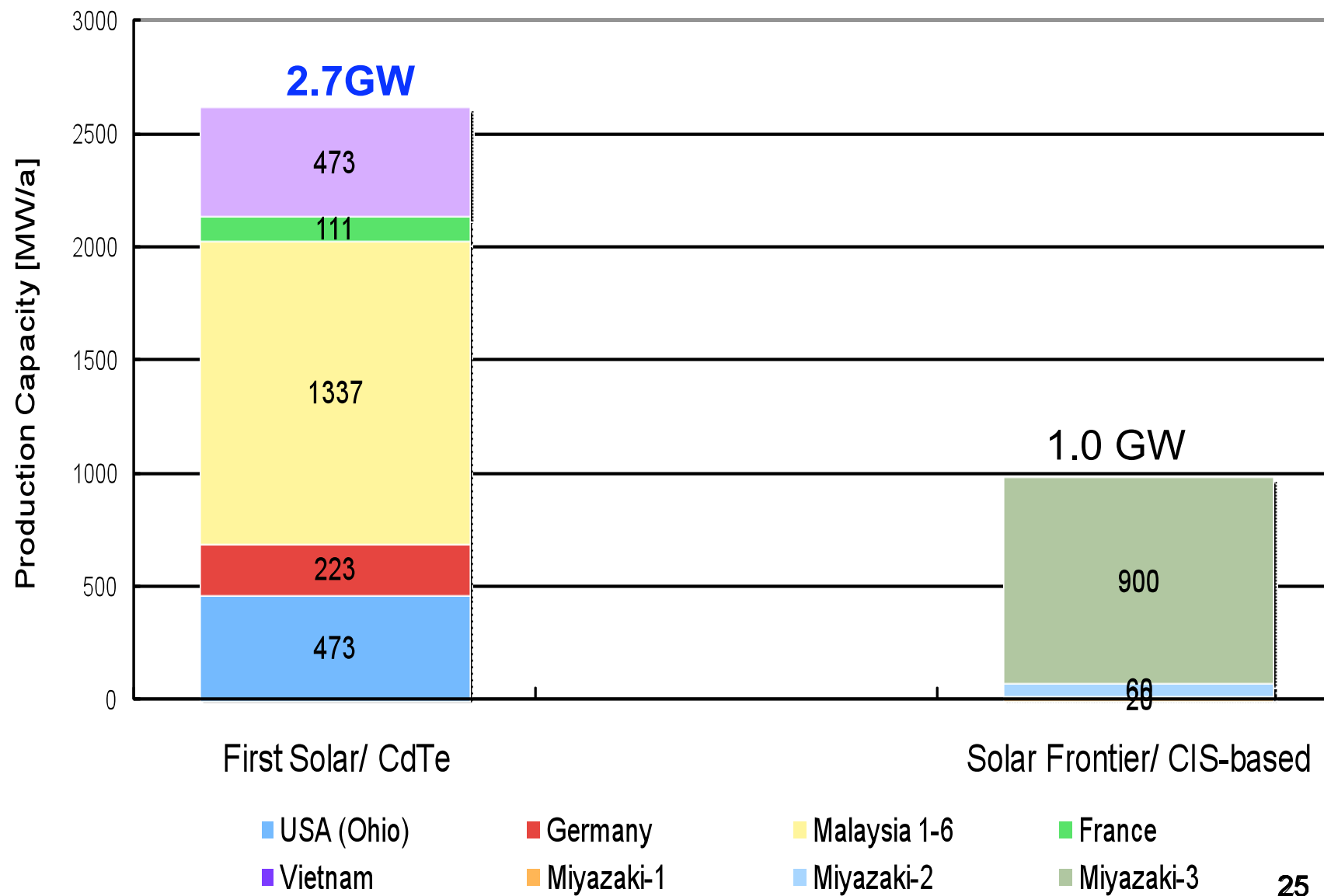
宮崎第3プラント（国富町）__建設中 （年産900MW規模）

RoHS指令に対応できる太陽電池製品を、GW（ギガワット）規模で生産する世界初の工場となる。**2011年半ばから本格稼動開始の予定。**



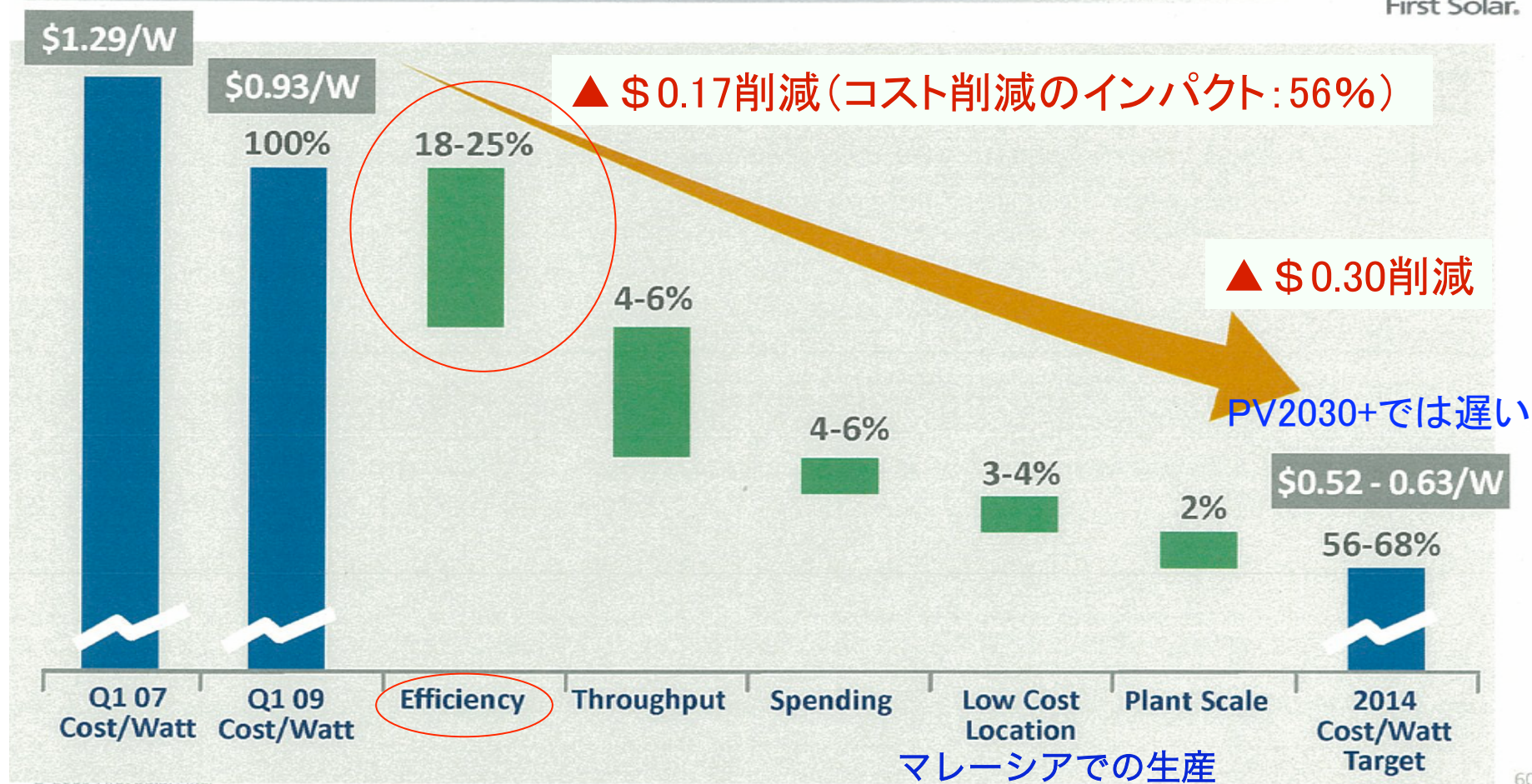
90cmx120cmサイズ
のガラス基板を使用

2012年の生産量予想



First Solar社 (CdTe)のGrid Parityに向けての行程表: 製造コスト削減への戦略

製造コスト削減には光電変換効率向上が必要との理解



2030年に向けた太陽光発電ロードマップ (PV2030+ロードマップ)

日本は新エネルギー政策を1970年から60年間堅持している希有な国

＜一般家庭用電力料金並み、23円/kWh＞

＜産業用電力料金並み、7円/kWh＞

製造原価目標	100円/W		70円/W		50円/W	
太陽電池の 種類	変換効率目標値					
	2010年		2017年		2025年	
	Cell	Module	Cell	Module	Cell	Module
結晶系Si	20	16	25	19	25	22
a-Si／微結晶 Siタンデム	15	12	18	14	20	18
CIS系	19	13	25	18	25	22
III-V化合物 (集光型)	40	20	45	35	50	40
色素増感	10	6	15	10	18	15

変換効率最高値：現状 _2010年8月現在

種類	CIS系	CdTe
小面積単セル： 最高値 (開口部面積)	・20.0 % (0.419cm²)_ 2007年10月 ・19.4 % (0.994cm²)_ 2008年7月 : NREL、CdSバッファ層 ・20.3 % (0.5cm²)_ 2010年8月 - ZSW、CdSバッファ層	・16.7 % (1.032cm²)_ 2001年9月 : NREL (NRELの主要な研究者は、スピニアウトシ、Prime Star Solar 設立: GEが投資)
大面積 (800cm ² 以上) モジュール： 最高値 (開口部面積)	・14.2 % (6840cm²)_ 2010年6月 - Solibro、CdSバッファ層 13.8 % (9762cm²)_ 2010年4月 - Miasole、CdSバッファ層 ・16.3 % (839cm²)_ 2010年7月 : 昭和シェル石油、Zn(O,S,OH)_xバッファ層	・10.9 % (4874cm²)_ 2000年4月 : BP Solarex(撤退)

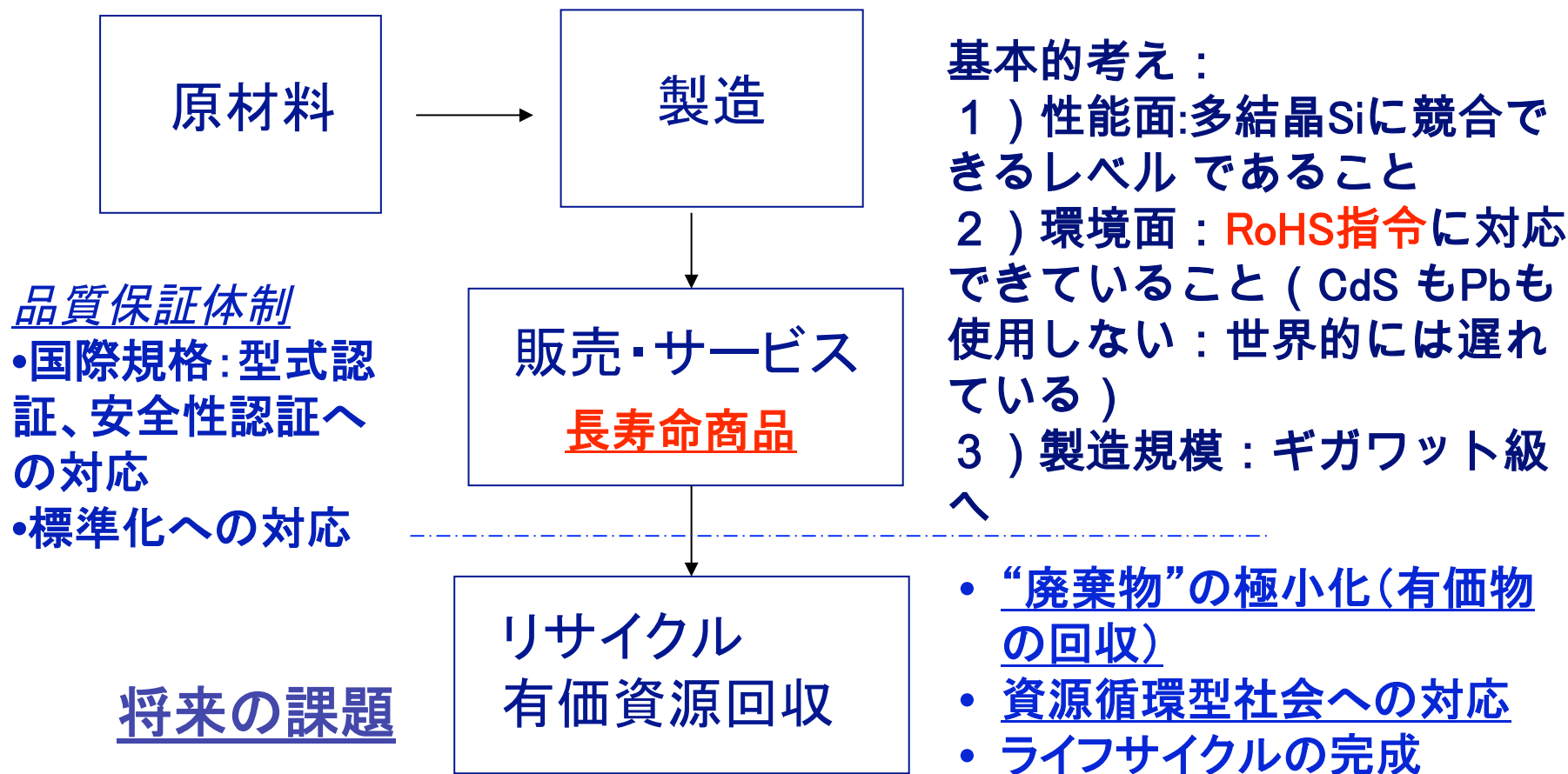
発表内容

- 1) 太陽電池とは？
- 2) 薄膜太陽電池としてのCIS系
- 3) 「環境の時代」の太陽電池**
- 4) まとめ**

「環境の時代」の太陽電池技術

環境の時代へのキーワード	太陽電池に望まれる項目
省資源	1) 薄膜であること。 2) 新しい高効率化技術を工場の生産ラインへ導入できること。 3) 生産プロセスが短いこと。 4) 長寿命商品であること。 5) 設計思想に”マテリアル・リサイクル”が考慮されていること(<u>資源循環型社会への適応</u>)。
脱有害化学物質	1) “環境負荷のない”太陽光発電システムを商品化できる技術力: <u>欧州のRoHS指令</u>に適合した商品であること。過去2回(2006年、2010年)、太陽電池製品のすべてが規制対象外。2014年が、2度目のRoHS指令見直し。 2) 安全性が世界共同(日本、米国、ドイツ)で確認済みであること。

もの作りの基本：原料から廃棄物まで (太陽電池モジュールのLife Cycleの管理) ：CISの場合



RoHS指令：“電気・電子機指令”（DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment）器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州議会及び理事会

発表内容

- 1) 太陽電池とは？
- 2) 薄膜太陽電池としてのCIS系
- 3) 「環境の時代」の太陽電池
- 4) まとめ

リーマンショック後のビジネスモデルの変化

- ◆ 2005年以降のドイツ市場の急拡大により、供給量に制約のあるシリコンウェハーが大幅に不足し、需要に応えるだけの供給力がない事態になった。
- ◆ シリコンウェハーの安定確保策として、日米欧の結晶系シリコン太陽電池メーカーが採った対策：

1) 長期購入契約の締結(ポリシリコン原料生産企業のシリコンサイクルへの不安解消と増産支援のため、1年間のスポット契約から6年間へ):リーマンショックによる市場縮小により、Q-Cellsの凋落。

⇒ 中国勢は暴落したセルをスポットで購入。

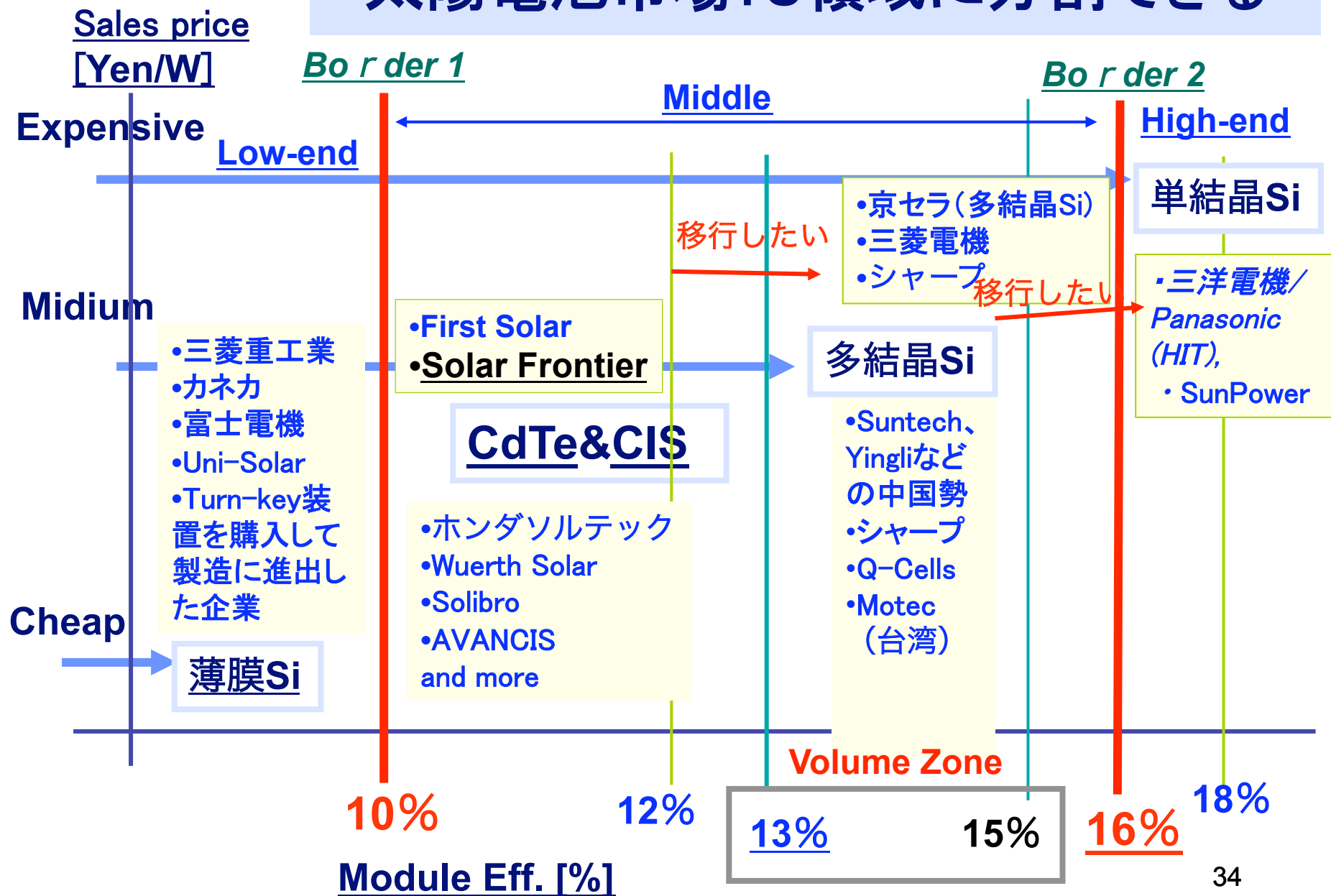
2) ポリシリコン原料生産企業への投資(2000年以前の垂直統合型のバリューチェーン・モデルへの回帰):リーマンショックによるQ-Cellsの凋落原因。

⇒ 中国勢は垂直統合モデル(基本的にQ-Cellsと同じモデル)。
中国政府が強力にバックアップしていることが違い。

3) ウェハーの薄型化: 日本メーカーは主に、スライシング技術を改善し、シリコンウェハー厚さを250ミクロンから180ミクロンへ薄くした。(同じセル化装置での歩留まり確保からウェハー薄型化の動きは180ミクロンを下限として、この厚さで停止。)

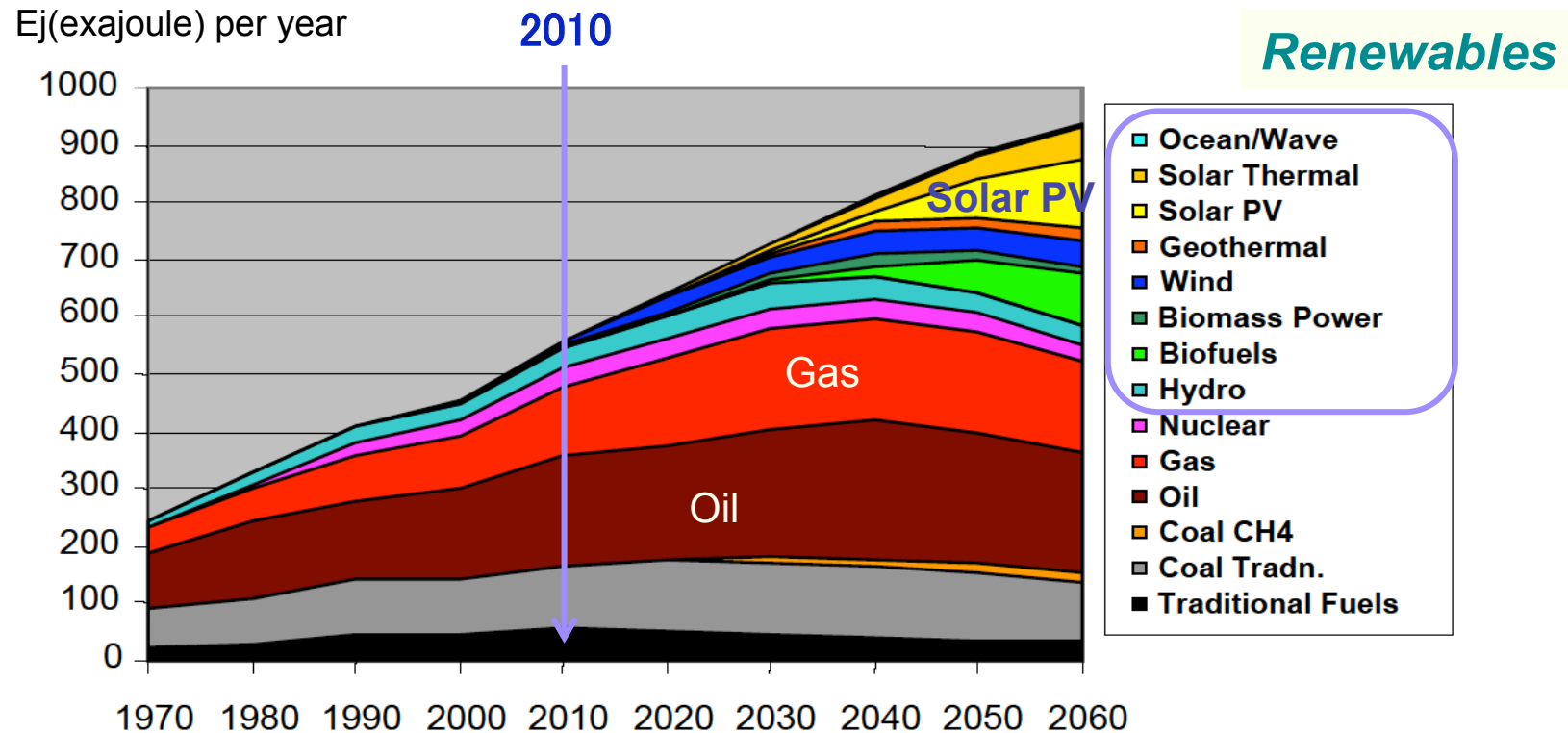
⇒ 中国勢は単結晶Siの厚いウェハーを使用してセル化。

太陽電池市場: 3領域に分割できる



世界の1次エネルギー需要: エネルギーミックスの時代へ

Shell's long term scenario – a transition to renewables



Shell Long Term Energy Scenario 'Dynamics as Usual'

