

民生用アモルファスシリコンデバイス

*1 内田 喜之(うちだ よしゆき)

*2 皿井 宏(さらい ひろし)

*2 山下 誠助(やました せいすけ)

① まえがき

今日までの目覚ましいエレクトロニクスの発展は、完全性を追求する単結晶シリコン生成技術に立脚した半導体素子技術、特に IC 技術の進歩によってもたらされたことと言うまでもない。IC 技術はいかに微細に、いかに精密にトランジスタという機能単位を形成するかが、その進展の尺度になっており、その母材となる単結晶シリコンには、その結晶成長・精製のために多くの工程と熱エネルギーを要し、成長可能な結晶のサイズにも制約があるという弱点がある。このような単結晶シリコンの不得意な面を補完する材料が、アモルファス(非晶質)半導体である。アモルファス半導体には、原子配列に結晶に見られるような規則性がない。したがって、比較的簡単な方法で大面積の基板に形成することが可能である。従来から実用されている代表的なデバイスとして、真空蒸着法により形成されるアモルファスセレンを用いた、電子複写機用感光ドラムがあげられる。しかし、間口の広い応用の可能性を示し注目されているアモルファスシリコン(a-Si)が、現在ではアモルファス半導体のエース的存在である。

a-Si はまず薄膜形太陽電池材料として注目され、引き続き感光ドラムなどの電子写真用の感光体材料への応用が試みられた。これらは、現在順調にその開発が進められている。富士電機は、太陽光発電用の低価格太陽電池の開発を、昭和55年以来サンシャイン計画に参画して進めている。また、電子複写機用感光ドラムの開発にも成功した。これらについての紹介は別の機会に譲ることとし、本稿では、富士電機が昭和55年に世界に先駆けて初めて商品化を果した民生用 a-Si デバイス⁽¹⁾、すなわち電卓用太陽電池、時計用太陽電池、太陽光下用大形基板太陽電池、光センサなどについて報告する。

② a-Si 膜の製法と特性

a-Si には、Si 原子の配列に長距離の規則性がない。したがって、隣接原子と結ばない Si 原子(結晶中では4本の共有結合手を結び合っている)の未結合手(ダングリングボンド)が随所に存在することになる。もちろん、このように欠陥(未結合手)を多量に含有した状態では、半導体材料としては使いものにならない。そこで、その生成過程において水素を Si と共存させておき、一配位の水素が Si の未結合手と結合し、欠陥を補償するような方法をとる。したがって、欠陥が少なく良好な特性を備えた a-Si には、

図1 a-Si 膜形成装置



9B-140-7

10~20原子%の水素が含まれている。このように水素で補償された a-Si を生成する方法は数多く提案されているが、富士電機が民生用デバイスの量産に用いているのは、プラズマ CVD あるいはグロー放電法と呼ばれる製法である。この方法においては、シラン(SiH₄)ガスに高周波(13.5 MHz)電界でグロー放電を生起させ、分解し、200~300°C に加熱した基板の上に堆積させて、a-Si 膜を形成する。SiH₄ にシボラン(B₂H₆)ガスを添加すると p 形膜が、ホスフィン(PH₃)ガスを添加すると n 形膜が生成されるので、ガスの切換えにより自動的に pin 構造(太陽電池の基本構造)を形成できる。また、ガス反応による形成法のため、大面積製膜が容易である。これらは製造工程上極めて重要な特徴であり、a-Si が大面積デバイスの分野に新しい時代を開く起源となっている。図1に、富士電機が開発し、量産に使用中のプラズマ CVD 装置の外観を示す。

高い光電導性、高い光学的吸収特性は、a-Si の光電変換デバイス材料としての特徴である。例えば、a-Si の導電率は太陽光を当てると4~5けた向上する。また、500~600nm の波長光に対する吸収係数は、結晶 Si に比べて1けた高い。それ故に、わずか1μm 足らずの薄膜で太陽電池が構成できる。

最後に強調しておきたいことは、新材料の合成の可能性である。その第一が微結晶化膜である。SiH₄ を放電分解するときの電力やガス流量を調整すると、直径10nm程度の微細な結晶を a-Si 相でつなぎ合わせた構造の微結晶化膜が生成される。同一のプラズマ CVD 装置内で a-Si と微結晶化 Si とが形成できるので、それらを組み合わせたデバイス⁽²⁾を造ることができる。また、Si と水素以外の第三の元素をその構造中に組み込むことにより、新しい性質の材料

*1(株)富士電機総合研究所 電子デバイス研究所 *2松本工場 第二製造部

を合成することができる。例えば、炭素を組み込んだ a-SiC は通常の a-Si より禁制帯幅が広く、また a-SiGe, a-SiSn などは禁制帯幅の狭い半導体であることが知られている。これら多彩な材料の組合せにより、新しい機能を持つデバイスが生まれる可能性がある。

③ 電卓用太陽電池

電卓用太陽電池は、室内の一般照明で、a-Si デバイスの光発電機能を、最も効率良く取り出せるように設計したソーラーセルである。このような室内発電用セルの用途は、液晶ゲームなど他にもいろいろあるが、電卓用が現在一番需要の多い分野である。

3.1 開発の経緯

昭和55年に、a-Si デバイスの最初の応用分野として、電卓電源用の太陽電池の開発に成功し、商品化を行った。これは、次のような背景によっている。

- (1) 電卓を構成する LSI と液晶表示部の低消費電力化が進み、電源部のソーラーセル化が可能になってきた。
- (2) 電卓は表示の読める明るさのもとで使用されるので、ソーラーセルを使えば、二次電池は不要となる。
- (3) a-Si ソーラーセルは、電卓に応じたデザインが自由にでき、またセルの外観が電卓の商品価値を高め得る。

商品化された当初のソーラー電卓は、ソーラーセルの面積が大きく、更に 200lx 以下の低照度では動作しないなどの欠点があった。その後3年間でソーラーセルの改良が進み、光電変換効率が飛躍的に向上した。現在では、50lx で動作する電卓が商品化されて、電卓のソーラー化率も急速に高くなった。近年の電卓の年間生産台数は約1億台、そのソーラー化率は約50%に達している。

3.2 構造

使用する基板により、ガラス、ステンレス鋼、高分子フィルムの3種類のタイプに大別されるが、現在、ガラスタイプを中心に量産されている。ステンレス鋼タイプ、高分子フィルムタイプは、基板が可とう性であるのが特徴である。いずれのタイプも直列接続形の構造を有し、ユニットセル間を端部で直列接続している。標準的な直列数は4段で、標準動作電圧を1.5V に設計している。3種類の室内用 a-Si セルの構造を図2に示す。

3.3 特性

標準的なガラスタイプ電卓用セルの製品規格を表1に示す。現在、表1以外にも多数の機種が製造されており、なかには5直列以上の直列構造の機種も含まれている。電卓の電源としての使用に際しては、負荷である LSI の消費電力との整合をとる必要がある。電卓用 LSI T6853 と適合させた ELA046 の設計特性を図3に示す。高性能の a-Si ソーラーセルの場合には、50lx 以下の低照度のもとでも電卓を動作することができる。このようなソーラーセルの自

図2 室内用 a-Si セルの構造

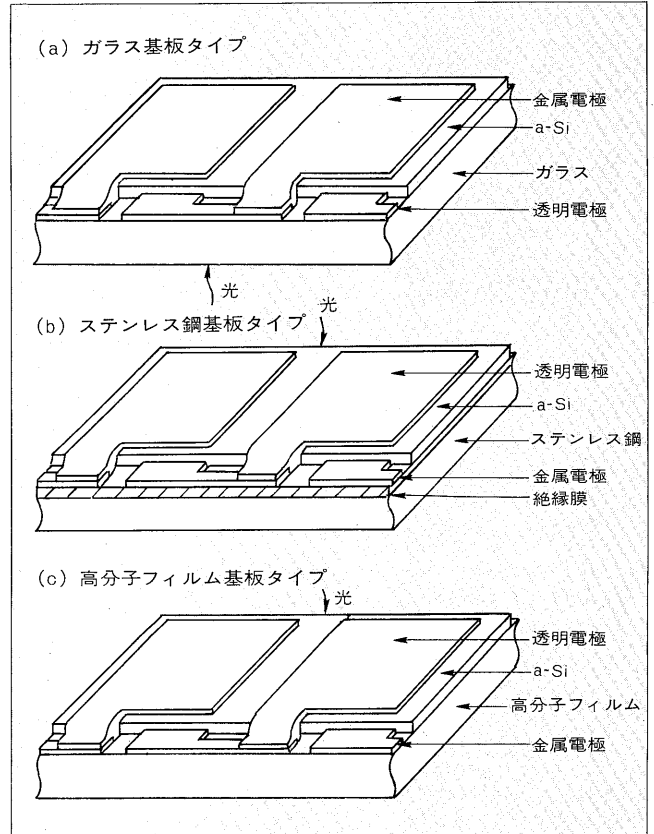
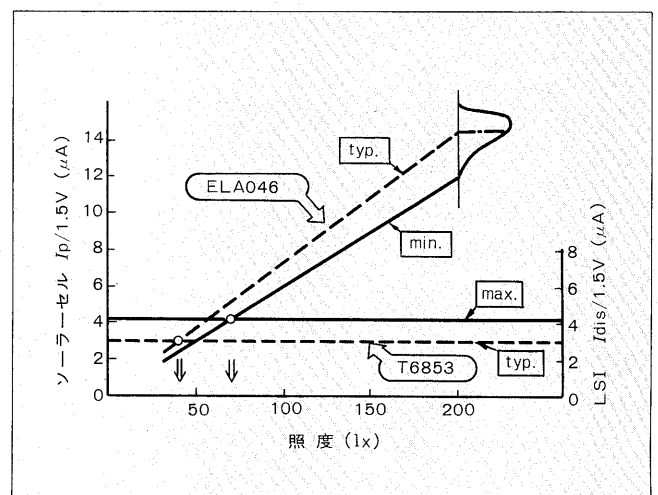


表1 室内用 a-Si 太陽電池の出力特性

形式	出力特性 (200lx 白色光下)		外形寸法 (mm×mm)	直列数
	動作電流(μA)	動作電圧(V)		
ELA056	5.0	1.5	30.7 × 11.0	4
ELA047	6.0	1.5	29.6 × 11.8	4
ELA048	6.5	1.5	41.5 × 9.9	4
ELA045	7.0	1.5	38.0 × 12.4	4
ELA060	8.0	1.5	35.1 × 13.7	4
ELA046	12.0	1.5	55.0 × 13.5	4
ELA049	15.0	1.5	55.0 × 14.5	4

図3 電卓用セルと LSI の設計特性例



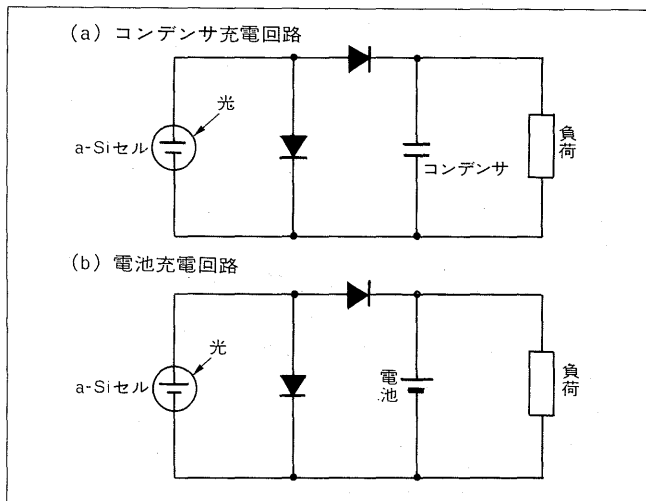
色蛍光灯下における光電変換効率は15%にも達している。

④ 時計用太陽電池

昭和55年に商品化して以来、a-Siセルの民生用の用途として、LSIを直接駆動する電卓用セルが主流を占めてきた。ここ1、2年、新しい用途としてウオッチ駆動用a-Siセルが注目され、年々需要が増大しつつある。ウオッチ駆動用a-Siセルは、図4に示すように、二次電池(AgO電池あるいはNi-Cd電池など)、又はコンデンサの充電用電源として使用される。

富士電機で開発したウオッチ用a-Siセルは、電卓用a-Siセルで培った低照度特性の技術、大面積a-Si太陽電池の高照度特性の技術をベースに、構造、電気的特性、デザイン面で次に述べるような特徴を備えている。

図4 ウオッチ用a-Siセルによる基本充電回路



4.1 構造

ウオッチ内蔵のため、薄形、微細構造パターンで形成されている。厚さ0.4mmのガラス板に透明電極、pin構造のa-Si層、裏面電極、保護膜を積層した構造であり、全体の厚みは0.45mm以下となっている。またパターンの合せ精度は、ホトリソグラフィ技術を用いているため、30 μ m以下となっている。

4.2 特性

透明電極の光透過率と抵抗率、a-Si膜厚、パターン構造の最適設計により、低照度特性(200 lx、白色蛍光灯下)で12~13 μ A/cm²、高照度特性(100 mW/cm²、AM-1)で8~9 mA/cm²の出力電流特性を兼ね備えているため、室内での充電、戸外での急速充電の双方が可能となっている。時計用太陽電池の出力特性の一覧を表2に示す。

4.3 デザイン

ウオッチがアクセサリ要素ももっているため、セル自体も美観を保つ必要がある。その点a-Siは、ホトリソ

表2 時計用a-Si太陽電池の出力特性

形式	出力特性				外形寸法 (mm×mm)
	AM1 (100 mW/cm ²)		200 lx 白色光		
	動作電流 (mA)	動作電圧 (V)	動作電流 (μ A)	動作電圧 (V)	
ELB008	0.3	2.3	0.4	1.5	9.7×4.7
ELB001	0.7	2.3	1.0	1.5	19.0×4.8
ELB002	0.9	2.3	1.3	1.5	21.5×4.4
ELB009	1.4	2.3	2.0	1.5	19.0×7.8
ELB010	7.0	2.3	10.0	1.5	35.0×18.0

グラフィの導入により、ウオッチのデザインに合わせたパターンが形成できるので好都合である。また、透明電極及びa-Siの膜厚のコントロールにより、ウオッチの外装に合わせた色相を選択することが、ある程度可能である。

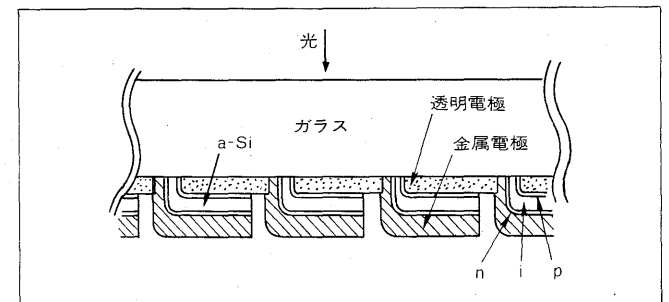
⑤ 太陽光下用大形基板太陽電池

a-Siは、大面積の基板上に容易に形成することができる。この特徴を十分に生かして開発した製品が、ここで述べる大形基板太陽電池である。この系列のa-Si太陽電池は、屋外で使用されるバッテリー充電器や街路灯、クロック用電源などへの応用を目的とした製品である。

5.1 構造

図5は、太陽光下用a-Si太陽電池の断面構造を模式的に示したものである。板ガラスを基板に用い、その上に透明電極、pin構造のa-Si、金属裏面電極を順次積層した基本構造をしている。透明電極、a-Si、金属電極はいずれもストライプ状にパターンニングされ、透明電極の一端が次段の金属電極と重ね合わされている。光が照射されると、透明電極側に正、金属電極側に負の起電力が発生するので、この太陽電池は複数のユニットセルが直列接続された構造になっている。このように、単一基板上に所要の出力電圧を得るための直列接続が容易に構成できるのも、a-Si太陽電池の大きな特徴である。

図5 太陽光下用a-Si太陽電池の断面構造



5.2 特性

現在までに、太陽光(AM1, 100 mW/cm²)下の出力が、45 mW から 450 mW までの系列を開発した(表3)。これら



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。