

バイパスダイオード内蔵太陽電池パネルの開発

Development of solar panels with built-in bypass diode

技術開発部 プロジェクト研究科 小野裕道 三瓶義之 小林翼 本田和夫
国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
高遠秀尚 白澤勝彦 水野英範 望月敏光
福島双羽電機株式会社 本田剛
アンフィニ株式会社 川崎俊弘 根本克広 木村太亮

太陽電池パネルの設置場所の拡大のため、バイパスダイオードをパネルに内蔵し裏面のジャンクションボックスを無くした太陽電池パネルを開発する。厚さ 0.7[mm]の薄型バイパスダイオードを開発し、これを内蔵した太陽電池パネルを試作した。電流バイパス時のバイパスダイオードの熱を効率的に放熱する設計を行い、定格電流 12[A]を流してもバイパスダイオードの温度上昇を 55[°C]以下に抑えることができた。

Key words: 太陽電池パネル、バイパスダイオード、内蔵

1. 緒言

再生可能エネルギーにより発電した電力の固定価格買い取り制度により、再生可能エネルギー発電設備が大量に導入された。特に太陽光発電の導入量の増加は大きく、さらなる拡大をめざし自動車車載用や建材一体型など設置箇所も多様化している。

現在の太陽電池パネル（以下：モジュール）は裏面に突起となるジャンクションボックスがある。これが、車両や建材に張り付ける際に障害となるため、ジャンクションボックスを省くことが求められている。しかし、ジャンクションボックス内には、太陽電池モジュールに影がかかるなどの不具合が発生した際に、電流をバイパスさせて太陽電池セルを保護する役割のバイパスダイオードが設置されている。このため、ジャンクションボックスを単純に取り除くあるいは移動させることはできず、裏面の突起を無くし、意匠性に優れた薄型太陽電池モジュールを生産することは難しい。

そこで、ハイテクプラザは福島県内の企業2社と産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所（FREA）と共同で、バイパスダイオードを内蔵した太陽電池モジュール及び実装技術の研究開発を行った。本報告では、薄型バイパスダイオードを開発し、これを内蔵した太陽電池モジュールを製作した結果を報告する。

2. 実験及び結果

2. 1. 薄型バイパスダイオードの開発

2. 1. 1. 熱膨張の応力緩和と構造の開発

バイパスダイオードは屋外直射日光による加熱に加えて、バイパス動作時にはダイオードを流れる電流の抵抗加熱によりダイオードチップ自体が発熱する。日中-夜間の温度変化に加え、バイパス動作の ON/OFF に

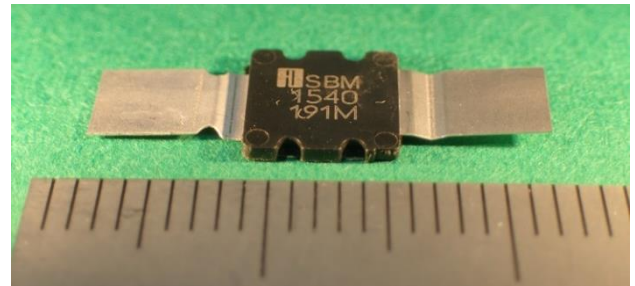


図1 バイパスダイオードの外観

表1 構造シミュレーション条件

解析ソフトウェア	Solid Works Professional
端子形状	・ M008-H2-01
解析条件	・ 静変形解析 ・ 表裏面の変形拘束 ・ 端子間に強制変位 0.2[mm]
表示	・ 相当応力 ・ 変位量

よる熱膨張-収縮は、ダイオードに引張・圧縮応力を加え破損させる恐れがある。

そこで、図1のようにばね性により応力の集中を緩和するための曲げを入れたダイオードの端子の形状について検討した。3次元CAD SolidWorks を用いて接続されたタブ線の熱収縮に相当する強制変位 0.2[mm]を与えた端子の応力分布をシミュレーションし、その有効性を評価した。解析条件を表1に示す。

シミュレーションにより得られた薄型バイパスダイオードの相当応力とその集中部位を図2に示す。この結果、単純な平板からなる端子では破損する条件であっても、曲げにより応力を分散することで、破損を避けることができることが確認できた。

表3 使用ダイオードチップ特性

薄型バイパス ダイオード型式 (モールドタイプ)	ダイオードチップ仕様
SBM2440	平均整流電流：12[A] 繰り返しピーク逆電圧：40[V] の ダイオードチップ 2 個使用
SBM1545	平均整流電流：15[A] 繰り返しピーク逆電圧：45[V] の ダイオードチップ 1 個使用



図1.3 SBM2440の外観

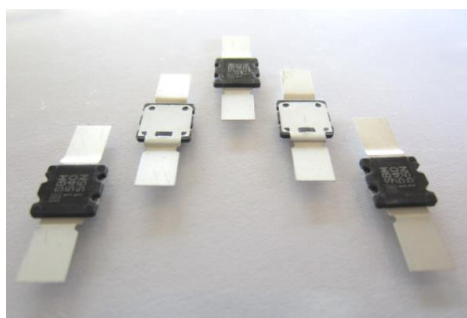


図1.4 SBM1545の外観

方向の電気抵抗自体が上昇したためと考えられる。

2. 4. ミニモジュールの製作

太陽光発電セルと共にラミネートした状態で温度上昇を評価するため、太陽光発電セルを4枚使ったミニモジュールを作製した。一般的なモジュールは太陽光発電セルが60枚程度直列に配置されるが、薄型バイパスダイオード周辺の配置を模擬して、温度分布を評価した。作製したミニモジュールを図1.5に示す。

2. 5. 温度上昇の測定

発熱素子は発熱量と放熱量が同量となれば、温度は一定になる。ダイオードの発熱量は電流値で決まり、放熱量は温度勾配と熱伝導路の材種と断面積で決まる。ダイオードの温度だけで放熱経路を評価することはで



図1.5 温度測定用のミニモジュール

表4 実験条件

印加方向	順方向
印加電流	6A, 12A, 12.5A
装置	直流電源 PAD55-20L (菊水電子工業(株)) デジタルマルチメータ PC500 (三和電気計器(株)) K熱電対
静定時間	6分
セル設置	80°に傾け

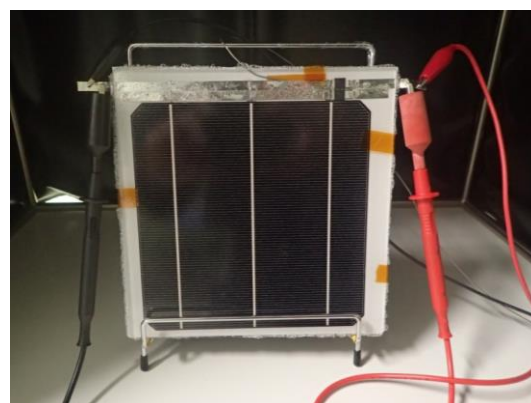


図1.6 実験中の太陽光発電モジュール

きないため、電子機器の放熱設計の指標となる熱抵抗を算出した。これは、ダイオードの消費電力当たりの温度上昇から算出される。

バイパスダイオードに電流が通過することを想定し、バイパスダイオードに順方向電流を通電し、消費電力当たりの温度上昇を測定した。市販品として多く使われている156[mm]×156[mm]の単結晶シリコン太陽光発電セルは、定格出力電流は10[A]程度が得られる。バイパスダイオードにも最大で同量の電流が通過することから、12.5[A]の直流電流を負荷し試験した。実験条件を表4に、実験の外観を図1.6に示す。評価したミニモジュールの諸元と熱抵抗を表5に示す。

表5 ミニモジュールの諸元と熱抵抗

型式	個数	配線幅	硝子サイズ	BPD配置	熱抵抗	順方向印加電流		
						6A	12A	12.5A
SMB1240	2個並列	12mm	180mm×180mm	アノード-ガラス	14.8 K/W		67.6K	73.4K
	1個並列	6mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	21.6 K/W	53.2K	85.9K	-
	2個並列	12mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	14.1 K/W	30.7K	61.7K	65.1K

表6 裏面に屋根材を張り付けたミニモジュールの熱抵抗

型式	個数	配線幅	硝子サイズ	BPD配置	裏面の鋼板	熱抵抗	順方向印加電流		
							6A	12A	12.5A
SMB1240	2個並列	12mm	180mm×180mm	アノード-ガラス	-	14.8 K/W		67.6K	73.4K
	1個並列	6mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	-	21.6 K/W	53.2K	85.9K	-
					鋼板	16.8 K/W	42.4K	70.7K	-
	2個並列	12mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	-	14.1 K/W	30.7K	61.7K	65.1K
鋼板					11.5 K/W	26.0K	51.8K	54.8K	

この熱抵抗から算出される電流通過時の温度上昇は65[°C]程度となり定格温度とほぼ同じになる。夏の日向に設置されモジュール温度が上昇した場合に安全性を確保するには、より温度上昇を抑制する必要がある。

そこで屋根材と一体に施工することを想定し、厚さ0.5mmの鋼板製の屋根板に接着した。バイパスダイオードに近いバックシート部分に接着剤を塗布し、屋根材と接着して温度上昇を測定した。同様に表4の実験条件で熱抵抗を測定すると表6のとおり、温度上昇を55[°C]以内に抑制することができた。これはジャンクションボックス内に設置される従来のバイパスダイオードの温度上昇と同程度であった。



図17 ミニモジュールの外観

2. 6. 難燃性ラミネート材による太陽電池の試作

2. 6. 1. ラミネート材の選定

太陽光発電セルに影がかかるなどして発電量が下がると、セルが発熱しホットスポットになる。バイパスダイオードはセルに流れていた電流を迂回させ、セルの発熱は減らすが、バイパスダイオード自体が発熱する。ダイオードの温度上昇によりモジュールのラミネート材が変性しないよう材種を選定する必要がある。そこでEVAフィルムより高温に耐えられる難燃性ラミネート材を選定した。

2. 6. 2. ラミネート試験

薄型バイパスダイオードは太陽光発電セルよりも厚く、ラミネート工程で気泡残りやラミネート材との剥離が発生する懸念がある。そこで従来のEVAと難燃性ラミネート材でラミネート試験を実施した。

太陽電池セル4枚を直列配置し、セルとタブ線をはんだ付けしたストリングを作製した。これをEVAフィルムと難燃性ラミネート材のそれぞれで挟み、真空加熱ラミネーターでガラス板にラミネート加工した。

2. 6. 3. 外観検査

難燃性ラミネート材によるミニモジュールのラミネート後の外観を図17に示す。薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電セルよりも厚い部分に気泡が残った。これは難燃性ラミネート材に対応したバックシートの柔軟性が低かったためと考えられた。太陽光発電セル部分に気泡残りはなく、良好であった。薄型バイパスダイオード内蔵太陽光発電モジュールを難燃性ラミネート材で製作できると考えられる。

2. 7. 量産機によるミニモジュールの試作

2. 7. 1. レイアップ加工

開発した製造工程が量産工程として耐えられるか確認するため、量産機を用いてミニモジュールの試作を行った。太陽光発電セル4枚を直列に配置し、セルとタブ線をはんだ付けしたストリングを製作した。これを図18の順でレイアップさせた。

4. 2. 2. ラミネート加工

レイアップしたミニモジュールをアンフィニ株式会社の量産機でラミネートした。表7に示す条件でラミネートした試料を図19に示す。ラミネート後のバイ

パスタダイオード内蔵ミニモジュールの外観を図20に示す。薄型バイパスダイオードの内蔵部分にシート破損や発泡、断線は見られず、良好にラミネートできた。開発した製造工程が量産機に適していることを確認した。

3. 結言

薄型バイパスダイオードを開発し、これを内蔵した太陽光発電モジュールを開発し、次の結果を得た。

- ・ダイオードチップが樹脂モールドで封止された、厚さ0.7mmの薄型バイパスダイオードを開発した。
- ・タブ線の温度変化による伸縮を吸収するため薄型バイパスダイオードの端子部にばね性を持たせた。
- ・ダイオードチップを2個使用し、電流通過時の発熱を抑制した。
- ・薄型バイパスダイオードに順方向電流12.5[A]を流しても、温度上昇55[°C]以下に抑えることができた。
- ・高温で変性しない難燃性ラミネート材により太陽光モジュールを試作した。バックシートの柔軟性が低かったため、薄型バイパスダイオード周囲に気泡残りがあったが、良好にラミネートできた。
- ・量産機により薄型バイパスダイオードを内蔵したミニモジュールを良好に製造でき、製造工程が量産工程に適することを確認した。

参考文献

- 1) 小野裕道, 他. 福島県ハイテクプラザ研究報告書 バイパス回路内蔵太陽電池パネルの実装技術の開発. 福島県ハイテクプラザ, 2020

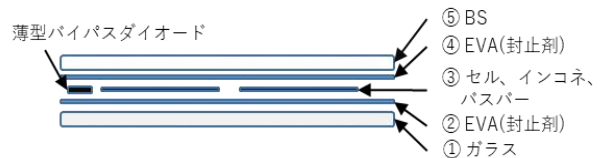
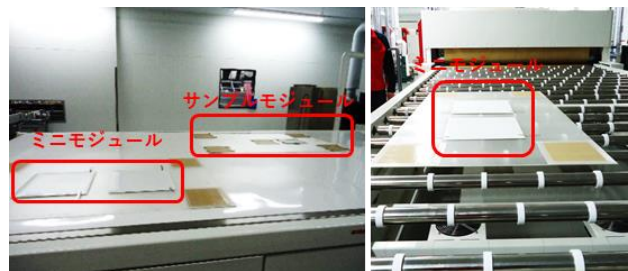


図18 ミニモジュールの断面図

表7 ラミネーターの条件

封止材	EVA (中国製) バックシート (中国製)		
処理条件		1層目	2層目
	温度 [°C]	142	151
	保持時間 [s]	150	450
	到達 ゲージ圧力 [kPa(G)]	1段階	-20
	2段階	-15	-10
	3段階	-10	-5



(a) 投入前

(b) 投入後

図19 ラミネーター投入前後のモジュール



図20 バイパスダイオード内蔵ミニモジュール