Research Center for Photovoltaics

HVPE法で作製した2接合太陽電池に おける各開放電圧の算出 ○ 相原 健人¹、太野垣 健¹、大島 隆治¹、庄司 靖¹、牧田 紀久夫¹ 生方 映徳²、菅谷 武芳¹ 」産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム 2大陽日酸株式会社 研究の背景 目的 PV特性の向上には、太陽電池の基礎特性を正確に知ることが重要である。一方で、 HVPE法を用いたDual Junction (DJ)太陽電池の開発 DJ太陽電池のような多接合型太陽電池では、各サブセルの基礎特性を直接計測 できない。 本チームでは、従来型のMOVPE法と比較して 高い成長速度と安価な原料の使用が可能な ☑ 各サブセルの短絡電流 (J_{sc}) -Current match ! HVPE法^{1,2)}を使用して、高効率なIII-V族化合 → 分光感度測定4) InGaP 物太陽電池の開発を実施してきた。これまでに トップサブセル □ 各サブセルの開放電圧 (V_∞) HVPE法を用いて、高効率なInGaP/GaAs DJ太 ⇒ 分光感度測定とEL測定の組み合わせ。 陽電池を実証した3)。(左図)現状ではAI系パッ Tunnel シベーション層を形成することはできていない Junction 本研究 が21%と高い変換効率を得ている。 n- GaAs emitter 100 nm GaAs 太陽電池と発光ダイオードの相関関係5.6) p- GaAs base 2.0 μm ボトムサブセル $\phi_{\rm em}(E) = Q_{\rm e}(E)\phi_{\rm bb}(E)\left[\exp\left(\frac{qV}{kT} - 1\right)\right], (1)$ ✓ DJ太陽電池の基礎特性 ntact. 200 nm J_{sc} (mA/cm²) V...(V) 上記の相関関係と非発光効率(NRE)の違いを 11.37 2.318 0.83 21.89 考慮して、各サブセルのV。を算出. DJ太陽電池の構造概略 In NRE: Non-Radiative Efficiency 実験手順 実験結果(※手順1) InGa⊢ 太陽電池 NREの違いを考慮した実験方法 InGaP太陽電池では、表面再結合がより強 EL測定 EQE測定 く生じており2)、二つの太陽電池間で、NRE リファレンスセルとして用意した、InGaP, GaAs シングルジャンクション (SJ) 太陽電池、及び、 1) が大きく異なっている事が予想されている. DJ太陽電池のEL測定と分光感度測定を実施 ✓ I-V測定から算出した、DJ太陽電池 0.6 ЩÖ InGaP solar cell GaAs solar o 及び、SI太陽電池の基礎パラメータ 0.4 SJ InGal SJ GaAs DJ 0.2 11.37 10.82 J_{sc} (mA/cm²) 26.78 SJ太陽電池の $V_{oc}(V)$ 1.358 2.318 0.0 注入電流を変化させたELスペクトル 0.841 0.796 0.830 FF Photon Energy (eV) InGaP SJ solar cell GaAs SJ solar cell DJ solar cell InGaP top subcell GaAs bottom subcell SJ太陽電池、及び、DJ太陽電池の EQEスペクトル 11% 12.36 21.70 21.89 2) SJ太陽電池における、EL測定のデータを用いた、 I-Vカーブの算出過程で、各太陽電池固有の SJ太陽電池とDJ太陽電池のEL測定と δV_{InGaP}, δV_{GaAs}を算出. EQE測定を実施 3) DJ太陽電池における、I-Vカーブの算出時に、 解析には、各太陽電池のELスペクトルの ← 全てのEL測定は 上記で見積った、 **\delta**V_{InGaP} **b**V_{GaAs}も使用 ーク強度とピーク位置を使用。また、EL 同様の配置で実施 算出したDJ太陽電池のI-Vカーブと従来のI-V測定 4) Injection Current (ms) SJ太陽電池における ーク強度の注入電流を変化 ーク位置に対応するEOE信号も使用. Ľ-DJ太陽電池における ELピーク強度の注入電流を変化 で見積ったJscを組み合わせて、個々のVocを算出. EL測定配置図 解析 (※ 手順 2~3) 結果と考察 (※ 手順 4) ✓ EL測定から見積った個々のV。 $V_{I}(I_{\rm EL}) = \frac{KT}{q} \ln \left[\phi_{\rm EL,I}(I_{\rm EL}) \right] + \frac{E}{q} - \frac{KT}{q} \ln (E) - 2 \frac{KT}{q} (EQE_{\rm EL}) - \frac{KT}{q} \ln (C), \quad (2) \qquad V_{\rm DJ}(I_{\rm EL}) = V_{\rm Top \, cell} \left[1 - 4 \right] - \delta V_{\rm tottom \, cell} \left[1 - 4 \right] - \delta V_{\rm bottom \, cell}$ SJ、及び、DJ太陽電池のEL測定 Top sub-cell Bottom sub-cell -タから算出した*I-V*カーブとI- δV_i 1: EL(JEL) 2: EL 3: EL $\delta V_{InGaP} + \delta V_{D}$ $\delta V_{GaAs} + \delta V_{DI}$ SUM 4: EQE (InGaP (GaAs V測定で算出したJscを組み合わ Vi [1~4] 5: luminescen Voc: Top cell Voc: middle cell $V_{\rm oc}$ (V) 1.339 0.978 2.317 せて、個々のV。を算出. matched very well 式(2)の*I-V*カーブが各セルの*J*_{sc}, *V*_{cc}に対応するマーカー(◆, ■)に合うように 1. fitted curves Top subcell Bottom sub ✓ リファレンスとして使用したSJ太陽電池と (mA/cm²) DJ太陽電池ののV NREの指標となるδVを調整. 20 Sum of each subcell ž 算出したるV_{InGaP}とるV_{GaAs}はそれぞれ 383.2 mV, 287.5 mV. SJ InGaP SJ GaAs Ň 2. 0.978 V 1.339 V 15 t Density (2.317 oltage . Itage ↑ δVは不一致なので NRFに違いが $V_{\rm oc}$ (V) 1.358 1.018 2.318 Jsc aAs SJ solar c Calculation from Fitted curves 10 存在していたことを確認 Current 11.3 mA/cm² 算出した個々の V_{∞} は、リファレンスセルとよく一致 算出したδV_{InGaP}とδV_{GaAs}を用いて、DJ 太陽電池の*I-V*カーブの算出を実施. 3. 10 15 20 25 30 10 15 する値を示した。また、電圧降下はトップセルとボト Current Density (mA/cm²) Current Density (mA/cm²) ムセルでそれぞれ19 mV, 40 mVであり、ボトムセル 4 DJ太陽電池のI-Vカーブは式(3)を用い 1 5 20 EL測定のデータを用いたSJ て算出 EL測定のデータを用いたDJ 側の減少が多く、その理由としてSJとDJとでJ_{sc}の値 太陽電池のI-Vカーブの算出 Voltage (V) 太陽電池のI-Vカーブの算出 同様にDJ太陽電池のJ_{sc}, V_{oc}に対応する 5. が2倍以上異なっているためと判断。以上、今回実 EL測定から見積ったI-Vカーブと マーカー(●)に合うようにるVDJを調整 施した手法で正確な各サブセルのV_{oc}の算出を遂行. I-V測定から算出されたJ 結論 参考文献 1) R. Oshima et al., IEEE J. Photovoltaics 9, 154 (2019). EL法を使用した各サブセルの開放電圧の算出 2) Y. Shoji et al., Appl. Phys. Express 12, 052004 (2019). ◆ 非発光効率の違いを考慮するためSJ太陽電池を用意. 3) R. Oshima et al., IEEE PVSC-46, Chicago, USA (2019). 4) T. Tayagaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. 56, 08MC01 (2017). ◆ EL, EOE測定から各太陽電池の非発光再結合効率を算出. T. Kirchartz et al., Appl. Phys. Lett. 92, 123502 (2008). ◆ 非発光効率を用いて、DJ太陽電池の各サブセルのV_∞を算出. 6) S. Roensch et al., Appl. Phys. Lett. 98, 251113 (2011) ♦ 得られた開放電圧はSJ太陽電池とよい一致. 本研究は(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受けて

行われました。

◆ 簡易的な測定条件で正確な個々のV_∞の算出を遂行.