

[22047]

化合物半導体を用いた IoT 向けデバイスの耐放射線特性解明 Investigation of radiation tolerance of compound semiconductors for IoT devices

杉山 睦^{A)}, 友野 恵介^{A)}, 金井 綾香^{B)},
Mutsumi Sugiyama^{A)}, Keisuke Tomono^{A)}, Ayaka Kanai^{B)}
^{A)} Tokyo University of Science
^{B)} Nagaoka University of Technology

Abstract

Visible-light-transparent flexible solar cells using polyimide substrates were fabricated and investigated. Flexible cells are expected to enable installation on curved surfaces such as clothes. In addition, visible-light-transparent flexible solar cells are expected to the characteristics of absorbing ultraviolet light, while transmitting visible light. In this study, the degradation resistance of visible-light-transparent flexible solar cells were evaluated after bending test. In addition, radiation resistance was evaluated after irradiation test. These results were confirmed that the increase of bending cycles and curvature of the bending had a significant impact on the degradation of solar cell characteristics. In addition, the effects of irradiation of radiation on pn interface between NiO and ZnO were confirmed.

Keyword: NiO, semiconductors, solar cells, electron irradiation

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルの実現に向けて再生可能エネルギーを利用した自己発電型デバイスの活用が期待されている。我々は、p 型半導体の NiO と n 型半導体の ZnO を組み合わせる事によって、ガラス基板上に NiO 系可視光透過型太陽電池の作製を行ってきた[1,2]。そこで基板にポリイミドを使用した、フレキシブル可視光透過型太陽電池について検討した。フレキシブル可視光透過型太陽電池は、人体に有害な紫外光を吸収しつつ可視光を透過する特徴に加え、フレキシブル基板を用いることで、従来よりも設置自由度が広がることが期待される。しかし、フレキシブル可視光透過型太陽電池の劣化耐性や、放射線耐性についての報告は少ない[3,4]。そこで本研究では、繰り返しの曲げ試験や大気中で曲げた状態で放置した場合の劣化耐性を評価した。また、宇宙空間での実用化に向け、放射線を照射した際の放射線耐性を評価した。その結果、曲げ回数の増加や放置時の曲げ曲率の増大が太陽電池特性の劣化に大きく影響を与える事を確認した。また放射線照射により pn 界面の変化を確認した。

2. 実験方法

可視光透過型 NiO 系太陽電池について、RF マグネトロンスパッタ法を用いて、ポリイミド基板上に ITiO を 100nm、ZnO を 500 nm、NiO を 10-30 nm 堆積し、表面電極として Ag を堆積したフレキシブル透明太陽電池を作製した。作製したフレキシブル太陽電池を大小二種類の曲率で 90、180 回の繰り返し曲げ試験、及び曲げたままでの放置試験を行い曲げ耐性及び環境耐性を評価した。また、放射線照射試験では、作製した太陽電池に対して加速エネルギー 2 MeV、照射量 $1 \times 10^{13} \sim 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の電子線照射を行い、その前後で J-V 測定を行った。

3. 結果及び考察

3.1 曲げ回数及び曲げ曲率が太陽電池特性に与える影響

Figure 1 に曲げ回数及び曲げ曲率と短絡電流の関係を示す。曲げ回数と曲げ曲率の増加によってフレキシブル透明太陽電池の短絡電流の減少幅が増加する事を確認した。これより、曲げにより生じたクラックが太陽電池の劣化に影響を与えることが示唆される。また、Figure 2 に大気中に放置した日数及び曲げ曲率と短絡電流の関係を示す。放置期間が増加するほど短絡電流が減少することを確認した。これより、曲率が小さい時には太陽電池の劣化の起因となるクラックの発生を抑制できることが示唆される。また、クラックにより薄膜の表面積が増加することから、曲率が小さい時の方が表面積の増加が抑制さ

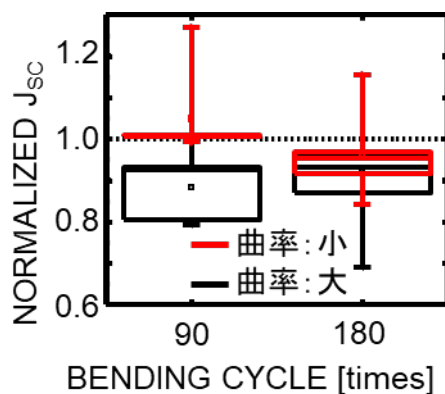


Figure 1. Relationship between the number of bending cycles/curvature and the short-circuit current of flexible visible-light transparent solar cells.

[22047]

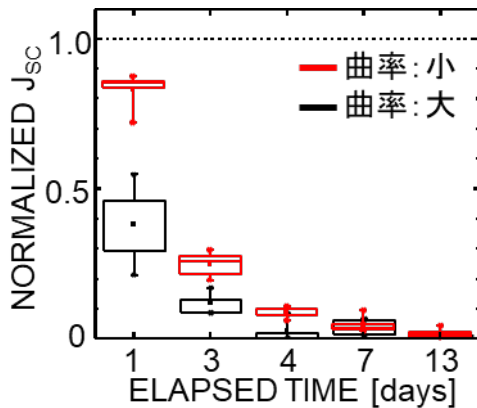


Figure 2. Relationship between leaving period and short-circuit current of flexible visible-light transparent solar cells with different bending curvatures.

れ、劣化の原因と考えられる表面の酸化が抑制されたことも示唆される。

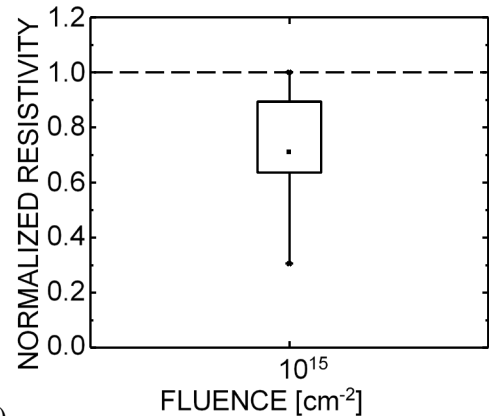
3.2 電子線照射が劣化したフレキシブル透明太陽電池の特性に与える影響

Figure 3 に 10^{15}cm^2 の電子線を照射前後の、(a)裏面電極である ITiO 薄膜の抵抗率の変化と、(b) NiO/ZnO/ITiO 系フレキシブル透明太陽電池の暗条件における電流密度-電圧特性を示す。裏面電極自体の抵抗率の変化と、太陽電池全体として立ち上がり電圧が変化している事を確認した。これより、電子線照射が太陽電池の pn 界面および裏面電極に影響を与えることが示唆された。

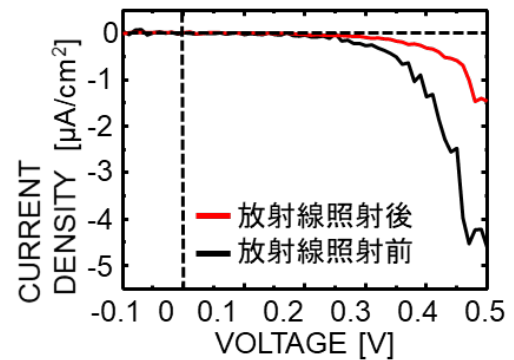
4. 結論

NiO 系太陽電池の、曲げや放射線に対する耐性を調査検討した。曲げ回数の増加及び曲げ曲率の増大により開放電圧や短絡電流の減少幅が増大したことから、曲げによって発生するクラックが太陽電池特性の劣化に影響する事が推測された。一方で、曲率が小さい条件ではフレキシブル透明太陽電池の特性の劣化が抑制されたことから、特定の条件下において長期間の運用が期待できる。また放射線照射によってフレキシブル透明太陽電池裏面電極の抵抗率と、デバイスの電流電圧特性の立ち上がり電圧が変化したことから、放射線照射が pn 界面と裏面電極に影響を与えることが示唆された。

劣化に至るまでの詳細なメカニズムが不明であるため、今後は劣化メカニズムの検討が課題となる。また、フレキシブル透明太陽電池の劣化後の加熱処理が開放電圧や短絡電流に与える影響、及びその要因の検討、さらにフレキシブル透明太陽電池の宇宙空間での利用に向けて、放射線照射が各層および pn 界面に与える影響を具体的に検討する必要がある。



(a)



(b)

Figure 3. The change before and after electron irradiation by 10^{15}cm^2 of (a) degradation of ITiO film resistivity and (b) current density-voltage characteristics of NiO/ZnO/ITiO-based flexible transparent solar cells.

参考文献

- [1] M. Warasawa, Y. Watanabe, J. Ishida, Y. Murata, S. F. Chichibu, M. Sugiyama, Jpn. J. Appl. Phys. 52 (2013) 021102.
- [2] R. Tanuma, M. Sugiyama, Phys. Status Solidi A, 216 (2019) 1800749.
- [3] N. Kato, M. Sugiyama, Jpn. J. Appl. Phys. 59 (2020) 101004.
- [4] N. Kato, M. Sugiyama, Jpn. J. Appl. Phys. 60 (2021) 048001.