

6. Zusammenfassung

In dieser thematisch zweigeteilten Arbeit geht es in erster Linie um die Auswertung und Interpretation von ELECTRON-BEAM-INDUCED-CURRENT (EBIC) Messungen und in zweiter Linie um die elektrochemische Präparation von CIS-Solarzellen. Der eigene bei der Präparation verfolgte Weg ist zwar unter der Beachtung von Kriterien wie Schichthomogenität und Reproduzierbarkeit erfolgreich, funktionierende Solarzellen wurden dennoch nicht durch die sequenzielle Abscheidung der einzelnen Elemente verwirklicht. Alle in dieser Arbeit mit EBIC untersuchten Dioden wurden durch die binäre Abscheidung einer In_2Se_3 -*Bufferschicht* und der ternären Abscheidung der CIS-Absorberschicht erzeugt. Jede Schicht wird nach der Abscheidung unter Selenatmosphäre getempert. Die wichtigste eigene Entwicklung bei der Präparation ist die Verwirklichung einer Kontaktierungsmethode, die leicht hochskaliert werden kann und einen schnellen Ein- und Ausbau der ITO-beschichteten Glassubstrate erlaubt.

EBIC-Messungen werden sowohl im Proben-Querschnitt als auch planar durchgeführt. Die beiden unterschiedlichen Anordnungen von Diodenstruktur und Elektronenstrahl werden mit JUNCTION-EBIC (JEBIC) bzw. PLANAR-EBIC (PEBIC) bezeichnet.

Bei der JEBIC-Auswertung wird das Messsignal mit der lateralen Dosis der Anregungsregion des Elektronenstrahls entfaltet. Die Ortsauflösung der Methode verbessert sich hierdurch um eine bis zwei Größenordnungen. Sowohl das numerische als auch das analytische Vorgehen bei der Entfaltung eines Viel-Schicht-Systems ist ausführlich dargestellt.

An die entfalteten Daten wird ein empirisch motiviertes Modell gefittet, welches nicht nur auf der Trennung der primären, durch den Elektronenstrahl erzeugten eh-Paare beruht, sondern auch der Erzeugung und Trennung sekundärer eh-Paare durch Lumineszenz-Strahlung Rechnung trägt. Es weist allerdings noch ein Defizit bei der Berücksichtigung der ITO-Schicht auf. Hier wird bei großer Strahlenergie nach der Entfaltung ein negativer JEBIC-Strom festgestellt, welcher mangels geeigneter Vorstellungen nicht analytisch beschrieben werden kann. Trotz dieses Defizits im Modell kann dennoch die Diffusionslänge der Minoritätsladungsträger im CIS und die Breite der Raumladungszone bestimmt werden. Letztere liegt für alle ISFH-Solarzellen in der gleichen Größenordnung.

Für einige Solarzellen kann aus der Abhängigkeit der Diffusionslänge von der Strahlenergie mit einer empirischen Formel eine Abschätzung für die *Bulk*diffusionslänge und die reduzierte Oberflächen-Rekombinations-Geschwindigkeit gewonnen werden. Unter der Annahme von „normalen“ Lebenszeiten der Minoritätsladungsträger im CIS, wie sie aus der Literatur bekannt sind, kann die tatsächliche Oberflächen-Rekombinations-Geschwindigkeit bestimmt werden. Die so erhaltene Abschätzung liegt in der gleichen Größenordnung wie anderswo veröffentlichte Werte.

Die Strahlenergieabhängigkeit der Diffusionslänge zeigt einen im Rahmen dieser Arbeit nicht gedeuteten Effekt. Wenn die Strahlenergie eine probenabhängige Energiegrenze überschreitet, sinkt die Diffusionslänge auf ungefähr ein fünftel ihres Maximalwertes. Diese Grenze scheint mit der In_2Se_3 -Schichtdicke korreliert zu sein.

Im Zusammenhang mit den PEBIC-Messungen wird die Unzulänglichkeit des *Scheer*-Auswertungsverfahrens ausgearbeitet. Als Nächstes erfolgt die Erarbeitung eines Modells zur Deutung der auf-

fällig großen charakteristischen Länge bei PEBIC-Messungen an Superstratzellen, deren Rückkontakt nur einen Teil des Absorbers bedeckt. Im Modell wird mit elektrotechnischen Mitteln das großräumige Fließen von Majoritätsladungsträgern betrachtet. Die für das Modell notwendigen Diodenparameter werden aus I/U-Messungen bestimmt. Es erlaubt die Bestimmung des Schichtwiderstandes der CIS-Schicht. Da die Schichtdicke bekannt ist, kann der spezifische Widerstand berechnet werden. Er liegt im gleichen Größenintervall wie Literaturwerte.

Der Schichtwiderstand wird größer, wenn eine größere Strahlleistung eingebracht wird. Die Veränderung geht stufig vonstatten. Die Lage der Stufe ist möglicherweise ein Maß für die Strahlungsresistenz der Proben und die Höhe der Stufe ein Maß für die maximal erzeugbare Störstellendichte.

Alles in Allem wurde eine Vielzahl neuer Effekte beobachtet, die zum Teil umfassend erklärt werden konnten, zum Teil aber ungeklärt blieben. Die Vergleichbarkeit aller erzielten Ergebnisse mit Literaturwerten bzw. den Ergebnissen anderer Messmethoden unterstreicht die Zuverlässigkeit der eingesetzten Mess- und Auswertungsmethoden.

Bleibt zu wünschen, dass das hier zusammengestellte Wissen von anderen Wissenschaftlern aufgegriffen und überprüft wird. Für die Entfaltung der JEBIC-Messdaten ist die Kenntnis der lateralen Dosis von fundamentaler Bedeutung. Eine Überprüfung der inzwischen relativ alten Daten, auf denen diese Arbeit aufbaut, mit neuen weiterentwickelten Messinstrumenten muss unbedingt durchgeführt werden, um eine solidere Basis für die Entfaltung zu erhalten.

Wenn an Superstrat-Solarzellen der Schichtwiderstand gemessen werden soll, ist PEBIC bzw. LBIC die Methode der Wahl, da sie die Probe weder zerstört noch sonst irgendwie verändert.