

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialité : « Sciences des Matériaux »

Par

Fabien PINEAU

Synthesis and investigation of pure-sulphide $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{S}_2$ thin film based solar cells fabricated on transparent substrates for tandem application

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 20/11/2025

Unité de recherche : Institut des Matériaux Jean Rouxel, 2 rue de la Houssinière, 44300 NANTES

Rapporteurs avant soutenance :

Susanne Siebentritt
Negar Naghavi

Professeur des Universités, Université du Luxembourg
Directeur de Recherche, Université Paris-Saclay

Composition du Jury :

Président :

Examineurs :

Susanne Siebentritt
Negar Naghavi
Sébastien Dubois
Stéphane Collin
Florent Boucher

Professeur des Universités, Université du Luxembourg
Directeur de Recherche, Université Paris-Saclay
Directeur de Recherche, Université Grenoble Alpes
Directeur de Recherche, Université Paris-Saclay
Directeur de Recherche, Nantes Université

Dir. de thèse :

Co-dir. de thèse :

Nicolas Barreau
Ludovic Arzel
Thomas Lepetit

Professeur des Universités, Nantes Université
Maître de Conférences, Nantes Université
Maître de Conférences, Nantes Université

Titre : Synthèse et étude de cellules solaires à base de couches minces $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ élaborées sur substrats transparents pour application tandem

Mots clés : $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$, couche mince, cellule solaire, tandem, semi-transparent

Résumé : Les cellules solaires en couches minces de $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ (CIGS) sont envisagées comme cellules supérieures pour une intégration en tandem avec le silicium. Leur large bande interdite peut être ajustée à la gamme requise, mais des défis persistent lors de leur croissance sur des contacts arrière transparents et de leur fonctionnement en illumination arrière. Dans cette thèse, les absorbeurs CIGS sont préparés par co-évaporation et étudiés à travers trois volets complémentaires. Le premier démontre la faisabilité du dépôt de CIGS sur l'oxyde d'indium-étain et analyse l'impact des conditions de croissance sur l'absorbeur, le contact et leur

interface. Le deuxième examine les limitations liées à l'illumination arrière, en se concentrant sur l'épaisseur de l'absorbeur, la teneur en gallium et le budget thermique, et propose des stratégies d'optimisation. Le troisième explore l'intégration en tandem, où les premiers démonstrateurs présentent une transparence optique et une réponse photovoltaïque prometteuses. Ce travail établit la faisabilité et fournit des lignes directrices pour le développement de couches minces de CIGS co-évaporées sur contacts transparents pour les cellules solaires tandem.

Title : Synthesis and investigation of pure-sulphide $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ thin film based solar cells fabricated on transparent substrates for tandem application

Keywords : $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$, thin film, solar cell, tandem, semi-transparent

Abstract : $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ (CIGS) thin-film solar cells are considered as top cells for tandem integration with silicon. Their wide bandgap can be tuned to the required range, but challenges remain when growing them on transparent back contacts and operating them under rear-side illumination. In this thesis, CIGS absorbers are prepared by co-evaporation and investigated through three complementary studies. The first demonstrates the feasibility of depositing CIGS on indium tin oxide by co-evaporation and analyses the impact of growth conditions on the

absorber, the contact, and their interface. The second examines the limitations of rear-side illumination, focusing on absorber thickness, gallium content, and thermal budget, and proposes strategies for optimisation. The third explores tandem integration, where first demonstrators show promising optical transparency and photovoltaic response. This work establishes feasibility and provides guidelines for the development of CIGS thin films on transparent contacts for tandem solar cells.