

PROJEKTBERICHT

Zuverlässigkeit und Sicherheit von Betriebsmitteln in Niederspannungsverteilstationen für die Anwendung im Bereich der Windkraft- und Photovoltaikanlagen

Intermetallische Phasen (IMP), die zwischen den Werkstoffen Nickel und Zinn (Ni-Sn) sowie Silber und Zinn (Ag-Sn) entstehen können, beeinflussen das Betriebsverhalten von Komponenten aus dem Bereich der Elektronik und Elektrotechnik wie beispielsweise Kontakte oder Sicherungen, die insbesondere im Bereich der erneuerbaren Energien eingesetzt werden. Ziel dieses Projekts war es, die physikalischen Eigenschaften der entstehenden Phasen zu bestimmen und ihren Einfluss auf das Langzeitverhalten verschiedener Komponenten aus der Praxis zu untersuchen.

Für die elektrische Charakterisierung der IMP sollten phasenreine Proben auf Glasträgern hergestellt werden analog der Vorgehensweise im Vorläuferprojekt 16903 BG. In einem vorgeschalteten Screening wurden zuerst die sich tatsächlich bildenden Phasen im relevanten Temperaturbereich unterhalb 200°C ermittelt. Im System Nickel-Zinn wurde die Ni₃Sn₄-Phase, im System Silber-Zinn die Ag₃Sn- und die Ag₄Sn-Phase röntgendiffraktometrisch identifiziert. Zur gezielten IMP-Dar-

stellung wurden Doppellagen aus Silber und Zinn bzw. Nickel und Zinn im erforderlichen Schichtdickenverhältnis elektrochemisch auf zuvor metallisierten Glasobjektträgern abgeschieden und anschließend wärmebehandelt. Im System Ni-Sn konnten auf diesem Wege praktisch phasenreine Ni₃Sn₄-Proben dargestellt werden (Abb. 1), wogegen im System Ag-Sn – speziell für die Darstellung der Ag₃Sn-IMP – der Herstellungsprozess etwas modifiziert werden musste. Durch die Abfolge des Beschichtens mit Zinn im Überschuss, der nachfolgenden Wärmebehandlung und das anschließende Entfernen des überschüssigen Zinns mit einer Stripperlösung (L10 von Fa. Schlötter) konnten praktisch phasenreine Ag₃Sn-IMP erhalten werden (Abb. 2).

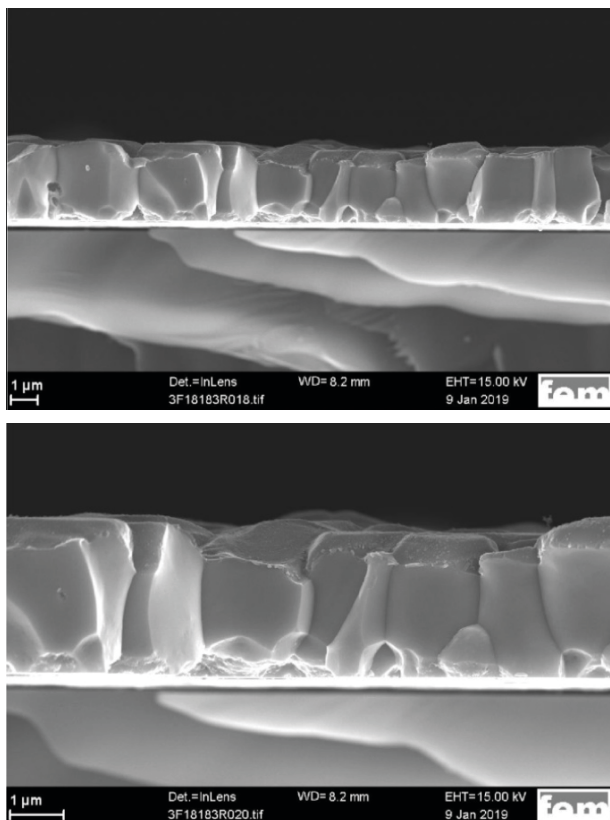


Abb. 1: REM-Aufnahme Bruchkante einer Ni₃Sn₄-Probe

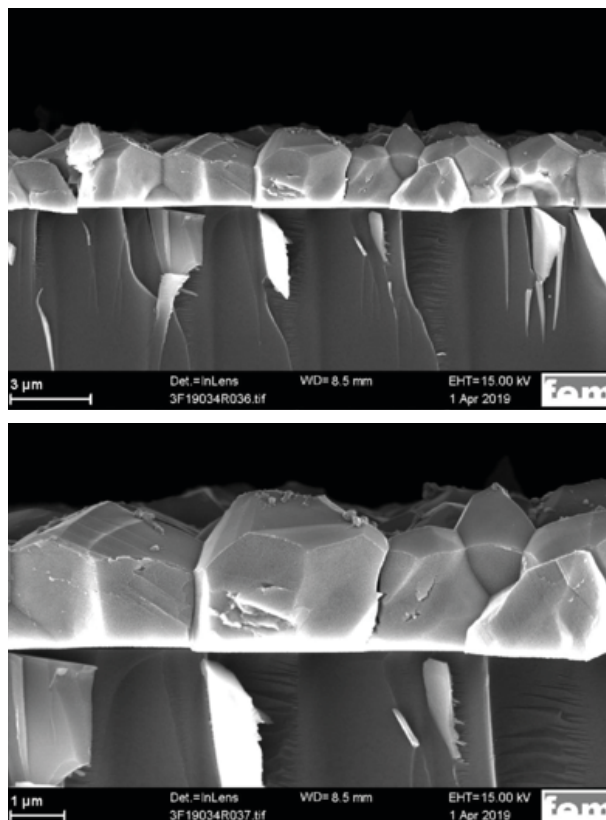


Abb. 2: REM-Aufnahme Bruchkante einer Ag₃Sn-Probe

Diese glasgetragenen IMP-Proben wurden beim Forschungspartner IEEH in einem Prüfstand charakterisiert, der während des Vorläufervorhabens entwickelt und im aktuellen Projekt optimiert wurde. Dabei konnten der spezifische elektrische Widerstand und der Temperaturbeiwert mit einer hohen Genauigkeit bestimmt werden (Tab. 1 und 2).

Die Wachstumsparameter der IMP der beiden Systeme wurden anhand von beschichteten Blechproben und Stromschienen sowie beloteten Silberschmelzleitern bestimmt. Die Proben wurden bei verschiedenen Temperaturen im Wärmeschrank gelagert und die Schichtdicke der gewachsenen IMP zu definierten Zeitpunkten bestimmt. Im System Nickel-Zinn wurden je nach Reinheit der Ausgangsschichten und Auslagerungstemperatur deutliche Unterschiede im Diffusionsverhalten beobachtet. Diese betrafen sowohl die Wachstumsgeschwindigkeiten als auch den Anteil an metastabiler Phase.

	ρ_{20} in $\mu\Omega\text{cm}$	α_T in K^{-1}
Ag	1,65	0,0040
Sn	12,00	0,0045
Ag ₃ Sn	(± 1) 12,50	($\pm 0,0003$) 0,0036
Ag ₄ Sn	(± 10) 58,00	($\pm 0,0003$) 0,0006

Tabelle 1: Elektrische Eigenschaften System Ag-Sn (spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturbeiwert)

	ρ_{20} in $\mu\Omega\text{cm}$	α_T in K^{-1}
Ni	8,00	0,0050
Sn	12,00	0,0045
Ni ₃ Sn ₄	($\pm 2,5$) 27,30	($\pm 0,0002$) 0,0033

Tabelle 2: Elektrische Eigenschaften System Ni-Sn (spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturbeiwert)

In Langzeitversuchen an beloteten Silberschmelzleitern, Steckverbindungen mit verzinneten Steckern und Buchsen und versilberten Kontaktlamellen sowie Schraubenverbindungen mit Stromschienen verschiedener Materialkombinationen wurde der Einfluss der IMP auf das Langzeitverhalten der Komponenten untersucht. An den Silberschmelzleitern konnte das Wachsen der IMP nur metallografisch, aber nicht durch einen Anstieg des Widerstands festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die IMP die weitere Diffusion im Überlastfall, die für das Abschalten erforderlich ist, verlangsamt. Die geforderte Schaltcharakteristik würde dann nicht mehr erreicht werden. An Steckverbindungen, bei denen sich die IMP im Mikrokontakt zwischen Kontaktlamelle und Stecker bzw. Buchse ausbilden können, erhöhten sich die Verbindungswiderstände in den Langzeitversuchen mit und ohne Steckzyklen deutlich. Der beobachtete Anstieg kann nicht allein auf die Bildung von IMP zurückgeführt werden. Vermutlich findet hier auch eine Oxidation der Oberfläche statt. Die Verbindungswiderstände der Schraubenverbindungen mit Stromschienen waren über die gesamte Versuchsdauer stabil. Dazu wurden experimentell die

physikalischen Eigenschaften der Phasen bestimmt und der erwartete Widerstandsanstieg für die Alterung durch das Bilden der IMP berechnet (Abb. 3, 4).

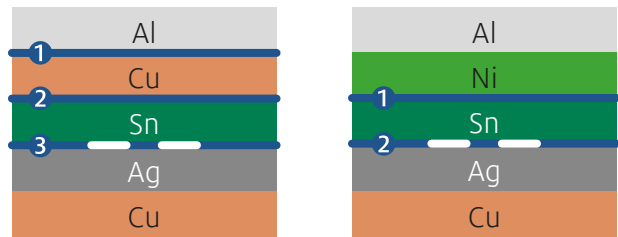


Abb.3: Schematische Darstellung der entstehenden IMP am Beispiel einer Kontaktpaarung Cu versilbert - Al vernickelt und verzinkt. Links: 1) IMP Al-Cu (Al_2Cu , AlCu , Al_4Cu_9) flächig zwischen Grundmaterial und Zwischenschicht; 2) Cu-Sn (Cu_6Sn_5 , Cu_3Sn) flächig zwischen Zwischen- und Deckschicht; 3) Ag-Sn (Ag_3Sn) in den Mikrokontakten zwischen den Kontaktpartnern (Annahme: 4% der scheinbaren Kontaktfläche). Rechts: 1) IMP Ni-Sn (Ni_3Sn_4) flächig zwischen Zwischen- und Deckschicht; 2) Ag-Sn (Ag_3Sn) in den Mikrokontakten zwischen den Kontaktpartnern (Annahme: 4% der scheinbaren Kontaktfläche)

$$R(t) = R(t=0) + \frac{\rho_{\text{Ni}_3\text{Sn}_4} \sqrt{k_{\text{Ni}_3\text{Sn}_4} t}}{A_s} + \frac{\rho_{\text{Ag}_3\text{Sn}} \sqrt{k_{\text{Ag}_3\text{Sn}} t}}{0,04 A_s}$$

Abb.4: Berechnungsformel des Widerstandswerts in Abhängigkeit der gebildeten IMP

Die Ergebnisse der Berechnung waren in der Größenordnung der gemessenen Werte. Ein stationärer Betrieb der Verbindungen ist damit unproblematisch. Bei einer Revision können die Beschichtungen jedoch durch die gewachsenen Phasen aufreißen. Die experimentell bestimmten Eigenschaften der IMPs ermöglichen es, das Langzeitverhalten betroffener Komponenten in Zukunft rechnerisch abzuschätzen. Der Nachweis, dass die IMP beider Systeme im stationären Betrieb unkritisch sind, ist von großem wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interesse für die künftige Gestaltung von Bimetallverbindungen.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17 EWBG der Forschungsvereinigung Verein für das Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (fem) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), speziell innerhalb der AiF-Forschungsallianz Energiewende, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

PROJEKT: IGF 17 EWBG

Laufzeit: 1.6.2017 – 30.5.2019

Forschungspartner

IEEH | Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, TU Dresden | 01062 Dresden

Ansprechpartner (Forschungsstelle 1)

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd

Dipl.-Ing. Heidi Willing, willing@fem-online.de, T +49 7171 1006-313