

Modellierung und Vergleich von Nanoindentationsversuchen an bleifreien Lotverbindungen durch numerische Verfahren

Juritzka, A., Müller, W.H.*, Sterthaus, J., Vogliano, A. und Weinberg, K.

Technische Universität Berlin, Institut für Mechanik, Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik und Materialtheorie, Einsteinufer 5, 10586 Berlin, Deutschland

Ziel der Nanoindentation ist die Ermittlung lokaler mechanischer Eigenschaften von Festkörpermischungen bzw. -legierungen, etwa mikroelektronischer Lote. Konventionelle Methoden, wie etwa der einachsige Zugversuch, führen nicht zu brauchbaren Ergebnissen, da sie die Eigenschaften des Werkstoffs für Makroproben wiedergeben. Aufgrund der Kleinheit mikroelektronischer Lotverbindungen sind solche Daten offensichtlich nur bedingt relevant. Bei der Indentation kann zum einen der Durchmesser des bleibenden Eindrucks gemessen werden, um hieraus nach der Methode von Oliver und Pharr Härte und E-Modul zu bestimmen. Zum anderen kann die vollständige Last-Weg-Beziehung aufgenommen und per FE-Modellierung analysiert werden, um darüber hinaus gehende Materialkenndaten zu extrahieren.

Copyright line will be provided by the publisher

1 Untersuchte Werkstoffe

Bei der Untersuchung der Grenzflächen von Lotanbindungen stößt man auf intermetallische Phasen (IMP), welche die Grenzflächenfestigkeit entscheidend beeinflussen. IMPs können mechanische Eigenschaften, insbesondere E-Moduli und Fließgrenzen aufweisen, die sich deutlich von denen der Ausgangsstoffe unterscheiden. Eine Bestimmung der Materialeigenschaften direkt an der Grenzfläche ist aufgrund der geringen Größe der IMPs schwierig. Das umgebende weichere Material beeinflusst selbst bei einem Miniaturtest wie der Nanoindentation das Ergebnis deutlich. Hier könnte eine FE-Untersuchung des Eindruckversuches helfen, die entsprechende Information aus der Last-Weg-Kurve des Verbunds zu generieren: Abb. 1. Im vorliegenden Fall wurden Nanoindentorexperimente sowohl an Grenzflächen als auch an gegossenen IMP-Vollproben aus Ag_3Sn , Cu_3Sn , Cu_6Sn_5 , $(\text{Cu,Ni})_3\text{Sn}$, $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ und Ni_3Sn_4 durchgeführt, letzteres zur Eingrenzung der zu erwartenden Daten im Verbundexperiment: Abb. 2 links. Details zur Probenherstellung sowie zu den Indentorexperimenten finden sich in [1].

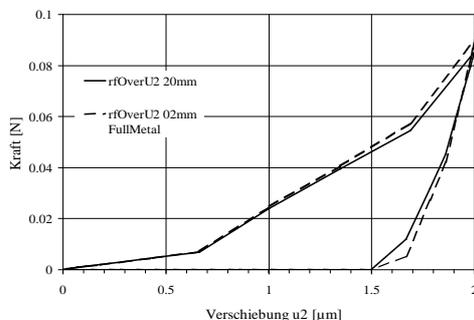


Abb. 1 Last-Weg-Kurve mit und ohne einbettendes Material.

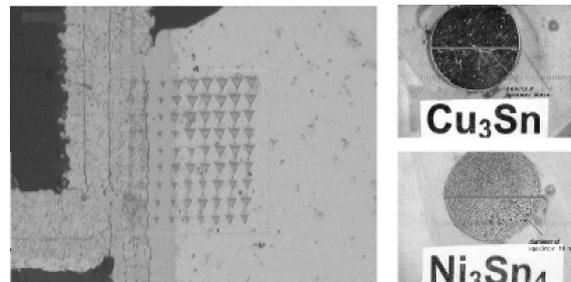


Abb. 2 Nanoindents an Lotballgrenzfläche (links) sowie zwei repräsentative IMP-Gussproben (rechts).

2 Messergebnisse

Abb. 3 zeigt die nach der Methode von Oliver und Pharr (vgl. [1]) ermittelten Härte- und E-Moduldaten aus Nanoindentorexperimenten. Es zeigt sich gute Übereinstimmung aus zum Vergleich durchgeführten Mikrovickersversuchen (nach [2]). Abb. 4 stellt Emoduli für die verschiedenen IMPs einander gegenüber. Diese wurden aus Nanoindentor- bzw. aus Ultraschallmessungen gewonnen. Die Tendenz ist bei beiden Meßreihen gleich, die Absolutwerte jedoch unterschiedlich. Dies liegt vermutlich an der Porosität der Proben, welche die Ultraschallmessungen verfälscht.

3 FE-Simulation

Ein Ziel der numerischen Untersuchung soll die Identifizierung über E-Modul und Härte hinausgehender Materialparameter sein. Eine andere Aufgabenstellung ist die theoretische Absicherung der Versuche, so z.B. die Ermittlung des Einflusses

* Corresponding author: e-mail: Wolfgang.H.Mueller@tu-berlin.de, Tel.: +49 30 314 27682, Fax: +49 30 314 24499

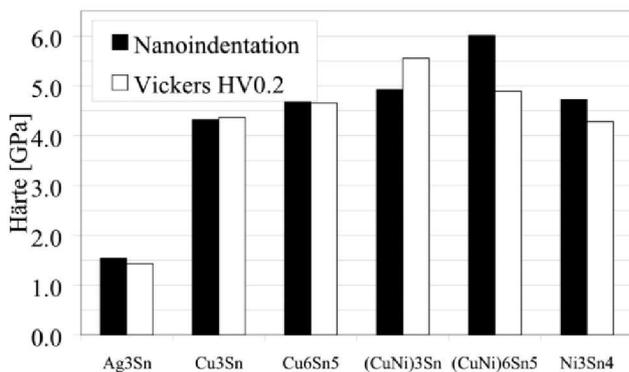


Abb. 3 Härtewerte diverser IMPs.

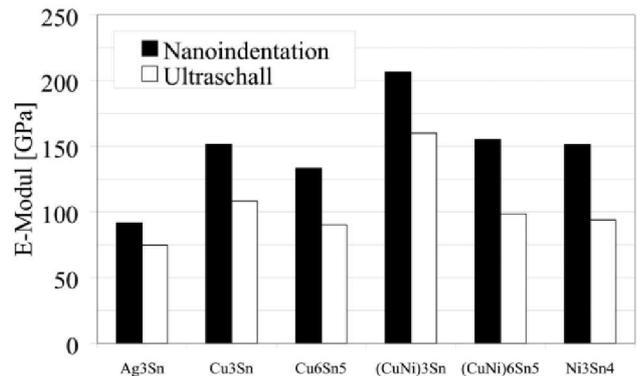


Abb. 4 E-moduli diverser IMPs.

von in der Probe befindlichen Einschlüssen auf die zu messende Last-Weg-Kurve. Die Modellbildung ist so auszurichten, dass alle wesentlichen Effekte berücksichtigt werden, gleichzeitig der Rechenaufwand aber begrenzt wird. Es wird also nur ein Teil des Probekörpers abgebildet, wobei sicherzustellen ist, dass er hinreichend groß ist, so dass die Wahl der Randbedingungen nur einen geringen Einfluss auf die Last-Weg-Kurve hat. Die Größe des abzubildenden Bereiches wird an einem Modell des gesamten Probekörpers kalibriert. Dazu wird die Last-Weg-Kurve des in Abb. 5 gezeigten gesamten Modells mit der eines $200\mu\text{m}$ Ausschnittes der metallischen Probe verglichen. Abb. 1 zeigt die beiden Kurven mit einer maximalen Abweichung von 5%. Der abgebildete Bereich ist mindestens so groß zu wählen, dass an den Außenrändern nur elastische Verformungen auftreten. Für die FE-Modellierung bietet sich ein axialsymmetrisches Modell an, wobei der Halbwinkel des nun konischen Diamanten so angepasst wird, dass sich dieselbe Flächenfunktion ergibt. Zur Bestätigung der Zulässigkeit des einfachen axialsymmetrischen Modells wird ein 3D-Modell herangezogen. Abb. 6 zeigt den mit Schalen als Starrkörper modellierten Diamanten und das Sechstel des zu testenden Materials. Ein Vergleich der kumulierten plastischen Dehnungen im axialsymmetrischen Modell zeigt zwar deutliche Unterschiede zu denen des scharfkantigen Berkovich-Diamanten im 3D-Modell. Jedoch liegen die Last-Verformungskurven zumindest für geringe Eindringtiefen sehr dicht beieinander. Mit dem nun verifizierten axialsymmetrischen Modell werden weitere Parameterstudien für verschieden geartete Einschlüsse erstellt, die aufgrund der hohen Rechenzeit mit dem 3D-Modell nicht praktikabel sind. Ein noch zu lösendes Problem ist die Beschaffung geeigneter Materialkurven, die auch für sehr große Verzerrungen noch gültig sind. Es wird den im Labor zu untersuchenden Lotmaterialien hinsichtlich E-Modul und Fließgrenze entsprechendes Verhalten zu Grunde gelegt. Verwendung findet ein bilineares Materialmodell, wobei der Verfestigungsbereich für große Verzerrungsmaße extrapoliert wird (in Abb. 1 wurde verwendet $E = 35000\text{N/mm}^2$, $E_S = 7000\text{N/mm}^2$, $\sigma_y = 18\text{N/mm}^2$ und $\nu = 0.21$).

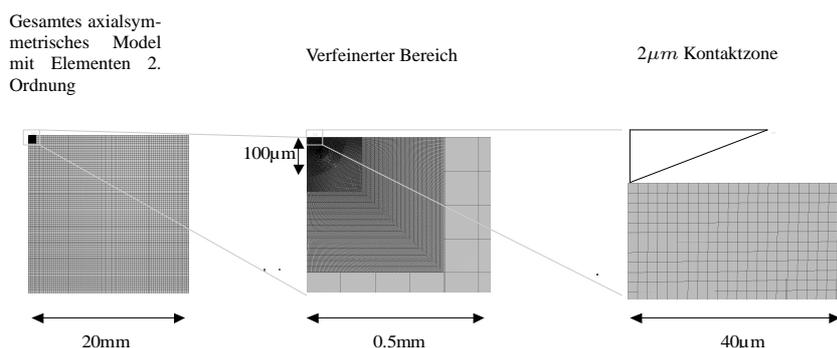


Abb. 5 Axialsymmetrisches Gesamtmodell.

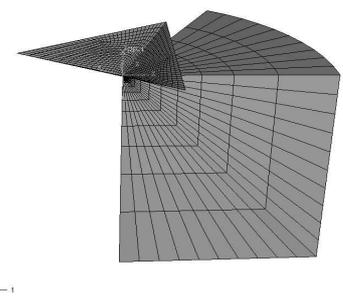


Abb. 6 3D-Modell unter Ausnutzung der 3 Symmetrieebenen des Diamanten.

Literatur

- [1] Albrecht, H.-J., Juritza, A., Müller, K., Müller, W.H., Sterthaus, J., Villain, J., Vogliano, A, Interface Reactions in Microelectronic Solder Joints and Associated Intermetallic Compounds: An Investigation of their Mechanical Properties using Nanoindentation. Proc. 2003 Electronics Packaging Technology Conference, Singapore. (2003),726-731.
- [2] Müller, K., Neue Materialien Bayreuth, persönliche Mitteilung.