

**Diss. Nr. 4616**

**Diffusion in galvanisch aufgebracht  
Schichten und Weichloten bei  
Temperaturen zwischen 23 und 212°C**

ABHANDLUNG

zur Erlangung  
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**MARTIN CREYDT**  
Dipl.-Ing. T.H. Aachen  
geboren am 8. Mai 1941  
deutscher Staatsangehöriger

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. Ed. Amstutz, Referent  
Dr. R. Fichter, Korreferent

Juris Druck+Verlag Zürich  
1971

## VIII ZUSAMMENFASSUNG

---

Der erste Teil der vorliegenden experimentellen Arbeit erläutert den Versuchsplan und die Versuchsdurchführung. Es wurden 32 Kombinationen von Zinn und Zinn/Blei mit verschiedenen Metallen, entweder massiv oder als dünne galvanische Schichten, hergestellt. Ferner sieben Kombinationen ohne diese Weichlote.

Die Proben wurden einer langzeitigen Wärmebehandlung bei Temperaturen zwischen 23°C und 212°C unterworfen und die dabei gebildeten Diffusionszonen mit der Elektronenstrahl-Mikrosonde untersucht. Parallel dazu wurden Mikrohärtemessungen vorgenommen.

Anhand der Ergebnisse wurden chemische Diffusionskoeffizienten für die binären Diffusionspaare Cu/Sn, Au/Sn, Ag/Sn, Fe/Sn und Ni/Sn berechnet für mehrere Temperaturen. Die Schichtenfolgen in den Diffusionszonen wurden quantitativ bestimmt und die Kinetik des Phasenwachstums in Schaubildern dargestellt.

Der Diffusionsvorgang in allen Proben mit Weichloten wird geprägt durch das schnell diffundierende Zinn, das alle untersuchten, höher schmelzenden Metalle auflöst. Inerte Markierungen wandern stets zur Lotsseite hin. Das Blei nimmt an der Legierungsbildung nicht merklich teil, es trägt jedoch zur Beschleunigung des Diffusionsvorganges bei, wenn es sich als bleireicher  $\alpha$ -Sn/Pb-Mischkristall vor der wandernden Phasengrenze Lot/Diffusionszone anreichert.

In den kupferhaltigen Proben dominieren Phasen des Typus  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , bei den übrigen Kombinationen lösen sich eine Vielzahl von Phasen im Verlauf des Prozesses ab. Gelegentlich werden intermetallische Phasen gebildet, die selbst nach den längsten Diffusionszeiten noch in ihrer anfänglichen Dicke und Zusammensetzung fortbestehen.

Verglichen mit der Diffusion in den Kombinationen mit Loten ist die Diffusion der höherschmelzenden Metalle untereinander sehr langsam. Es wurde ausschliesslich eine schwache Korngrenzendiffusion beobachtet, in einigen Fällen (Ni/Fe, Au/Ag, Fe/Ag) konnte kein Effekt registriert werden.

Während die exakte analytisch-mathematische Behandlung der Diffusionsvorgänge in realen, endlichen Vielkomponentensystemen mit wandernden Phasengrenzen heute noch auf kaum zu überwindende Hindernisse stösst, wurde als Zwischenlösung ein Rechnerprogramm entwickelt, das dem Stand der Wissenschaft entspricht und die Simulation einer Anzahl von Diffusionsvorgängen erlaubt. Es orientiert sich vor allem an dem Sperrschichtenproblem, es lassen sich aber auch die meisten anderen technisch interessanten Fälle, gegebenenfalls leicht vereinfacht, behandeln.

Ein Abschnitt über die aus den Versuchen zu ziehenden Folgerungen und ein Verzeichnis neuerer Literatur schliessen die Arbeit ab.

## INHALTSANGABE

In der vorliegenden Arbeit werden die bei der Interdiffusion von Weichloten und verschiedenen, galvanisch aufgetragenen Schichten zu beobachtenden Effekte beschrieben.

Es handelt sich um Versuche bei relativ niedrigen Temperaturen, die mit einer Elektronenstrahl-Mikrosonde ausgewertet wurden. Es werden chemische Diffusionskoeffizienten für die Diffusion von Zinn in einigen Metallen für mehrere Temperaturen angegeben.

Im dritten Teil der Arbeit wird ein zur Simulation von Diffusionsvorgängen in Mehrkomponentensystemen entwickeltes Rechnerprogramm vorgetragen und dessen Anwendung diskutiert.

## RESUME

Le présent travail relate, tout en les décrivant, les effets à observer au sujet de l'interdiffusion de soudures tendres, ainsi que dans le cas de divers revêtements métalliques obtenus par dépôts électrolytiques.

Il s'agit d'essais réalisés à des températures relativement basses et dont les résultats ont pu être interprétés grâce à l'emploi d'une microsonde électronique. Les données établies font mention de coefficients de diffusion chimique, à plusieurs températures, pour la diffusion de l'étain dans quelques métaux.

La troisième partie de cette étude est consacré à la présentation et à la discussion des conditions d'application d'un programme de calcul sur ordinateur pour une simulation des processus de diffusion dans des systèmes à plusieurs composants.

## SUMMARY

The thesis describes phenomena observed during low-temperature diffusion runs on thin galvanic layers and on multilayer combinations of soft solders with a number of base and noble metals.

The experiments were evaluated with an electron microprobe. Chemical diffusion coefficients were calculated for several combinations of tin with other metals at various temperatures.

A comprehensive computer programme using finite-difference methods for the simulation of some cases of multicomponent, multilayer diffusion is presented, along with instructions for its use.