

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 18

Artikel: Die Galvanik mit Edelmetallen für die Elektrotechnik

Autor: Flühmann, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916769>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Galvanik mit Edelmetallen für die Elektrotechnik

Von W. Flühmann, Zürich

621.357.6

Einleitend wird die Entwicklung der Galvanik mit Edelmetallen besprochen. Die prinzipiellen Anforderungen der Elektrotechnik an Edelmetallniederschläge werden angegeben und die Edelmetalle, mit denen diesen Anforderungen entsprochen werden kann, werden beschrieben. Die Anwendungen der Galvanik mit Edelmetallen werden für die vier Gebiete: Kontakte, gedruckte Schaltungen, Transistoren und Hochfrequenzleiter besprochen und die geeigneten Metalle bzw. Metallkombinationen und die Schichtdicken angegeben.

1. Einleitung

Die Anwendung galvanisch erzeugter Niederschläge aus Edelmetallen hat in den letzten zwei Jahrzehnten in der Elektrotechnik eine grosse Bedeutung erlangt. Es ist dies, verglichen mit der Anwendung der Galvanik von unedlen Metallen: Nickel, Chrom, Zink, Kadmium, usw., eine verhältnismässig späte Entwicklung, die um so merkwürdiger erscheint, wenn man bedenkt, dass die Versilberung bereits im Jahre 1840 von einem englischen Chirurgen, John Wright aus Birmingham, erfunden wurde, und dass die heutigen Silberbäder im wesentlichen noch immer auf der damals entdeckten cyanidischen Zusammensetzung beruhen. Das erste Patent für die galvanische Versilberung wurde 1841 in England Elkington erteilt. Auch die galvanische Vergoldung wurde lange vor den Verfahren für die Galvanik mit unedlen Metallen erfunden, wobei besonders erwähnenswert ist, dass auch Werner Siemens, sich mit den Problemen der galvanischen Vergoldung befasste und im Jahre 1842 ein Patent für das von ihm entwickelte Verfahren erhielt.

Zuerst einmal war sicher der hohe Preis der Edelmetalle eine der Hauptursachen der langsamen Entwicklung der Galvanik mit Edelmetallen. Auch konnten während langer Zeit die zur Verfügung stehenden Verfahren, die nur für dünne Schichten und dekorative Anwendungen entwickelt waren, den Anforderungen der Elektrotechnik nicht genügen. Erst die mit der fortschreitenden Entwicklung der Elektrotechnik (und im besonderen der Elektronik) immer höher werdenden Ansprüche an die Veredlung von Metalloberflächen, haben zu einer eigentlichen industriellen Galvanik mit Edelmetallen geführt. Die rasch fortschreitende Verschlechterung der Atmosphäre innerhalb und ausserhalb der elektrischen Geräte hat ihrerseits wesentlich dazu beigetragen, die Einführung von Edelmetallüberzügen zu beschleunigen.

Natürlich sind anfänglich bei dieser Entwicklung die umfangreichen Erfahrungen in der dekorativen Anwendung von galvanischen Edelmetallniederschlägen weitgehend ausgewertet worden. In diesem Zusammenhang darf erwähnt werden, dass bedeutende Impulse für diese neue Technologie von der schweizerischen Uhrenindustrie ausgegangen sind, welche über eine 80jährige Erfahrung in der Versilberung und Vergoldung und über eine 50jährige Erfahrung mit Goldlegierungsüberzügen verfügt [1] ¹⁾. Der Wert dieser langjährigen Erfahrung wird noch erhöht durch den grossen Umfang, den diese Galvanik mit Edelmetallen in der Uhrenindustrie erreicht hat, wurden doch in den Jahren nach 1945 jährlich durchschnittlich 3000...4000 kg Gold galvanisch verarbeitet. Diese einzigartige Ausgangslage hat die Ent-

L'auteur retrace tout d'abord l'évolution de la galvanisation avec des métaux précieux. Il énumère les exigences essentielles que pose l'électrotechnique aux dépôts galvaniques et décrit les métaux précieux qui permettent de satisfaire à ces exigences, puis les applications de la galvanisation avec des métaux précieux dans quatre domaines: contacts, circuits imprimés, transistors et conducteurs pour haute fréquence, avec indication des métaux ou combinaisons de métaux qui conviennent, ainsi que des épaisseurs des couches.

wicklung der Galvanik mit Edelmetallen für die Elektrotechnik in der Schweiz und im Ausland entscheidend gefördert.

Die Einführung von Minimalnormen für die Versilberung und Vergoldung in der Uhrenindustrie und Silberwarenindustrie, im Eidgenössischen Edelmetallgesetz von 1934, hat sich ebenfalls fördernd auf die Entwicklung der Galvanik mit Edelmetallen ausgewirkt. Die damals erfolgte Gleichstellung von galvanisch erzeugten Edelmetallniederschlägen mit mechanisch erzeugten, darf heute als sehr weitblickende Tat der damaligen Gesetzgeber anerkannt werden.

Eine Darstellung dieser Technologie und ihrer Möglichkeiten muss dem Umstand Rechnung tragen, dass zahlreichen Anforderungen viele Möglichkeiten gegenüberstehen, welche durch Kombination noch vermehrt werden können. Um der Gefahr der Unklarheit, die sich daraus ergeben könnte zu entgehen, werden hier bewusst nur die am häufigsten angewandten galvanischen Verfahren, bzw. Edelmetalle beschrieben. Die Erfahrung zeigt ferner, dass fast alle Bauteile, von einigen Ausnahmen abgesehen, die in der Elektrotechnik mit galvanischen Überzügen aus Edelmetallen versehen werden, in eine kleine Zahl von Gruppen mit ähnlichen Anforderungen eingeteilt werden können, so dass es dadurch möglich wird, sie in zusammengefasster Form darzustellen.

2. Aufgaben

Die Elektrotechnik stellt an die galvanischen Überzüge aus Edelmetallen folgende Anforderungen [2; 3]:

- Unedle Metalle sollen gegen Oxydation und Korrosion geschützt werden.
- Die Leitfähigkeit soll verbessert werden.
- Der Übergangswiderstand soll verbessert und konstant gehalten werden.
- Die Abriebfestigkeit soll verbessert werden.
- Die Lötfähigkeit soll verbessert werden.
- Die Lagerfähigkeit soll verbessert werden.

Einzelne, oft aber mehrere dieser Anforderungen können mit galvanischen Überzügen aus Silber, Gold, Goldlegierungen und Rhodium erfüllt werden.

Als Grundmetalle finden Kupfer und Kupferlegierungen, Beryllium-Kupfer, Nickel, Eisen, Eisenlegierungen, Wolfram, Molybdän, Aluminium und Aluminiumlegierungen usw., Verwendung. Es ist zu beachten, dass dünne Edelmetallschichten, welche stets Poren aufweisen, auf Eisen- und Eisenlegierungen nicht korrosionsschützend wirken. Die Edelmetalle und Eisen liegen in der Spannungsreihe weit auseinander, so dass bei Lokalelementbildung starke Korrasion auftreten kann. Durch Wahl einer Schichtdicke, die Porenfreiheit gewährleistet, oder durch eine porenfreie Zwischenschicht z. B. von Kupfer, kann dieser Nachteil ver-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

mieden werden, falls es aus technischen Gründen nicht möglich ist, ein besser geeignetes Grundmetall, z. B. Kupfer oder eine Kupferlegierung zu wählen.

3. Die Versilberung

Wie bereits erwähnt, ist die Versilberung das älteste galvanische Verfahren zur Abscheidung eines Edelmetalles, und es ist auch heute noch das am meisten verwendete, da Silber von allen Edelmetallen das billigste ist. Dazu kommt, dass das allgemein gebrauchte cyanidische Silberbad eine Reihe von Vorteilen, wie z. B. hohen anodischen und kathodischen Wirkungsgrad aufweist und über einen breiten Bereich der Temperatur und der Stromdichte gute Ergebnisse aufweist. Beim Silberbad stimmen das nach dem zweiten Faradayschen Gesetz sich ergebende Grammaequivalent und die tatsächlich abgeschiedene Silbermenge genau überein, was die Kontrolle der abgeschiedenen Silbermenge mittels Ampèrestundenzähler und bei Berücksichtigung der Fläche auch die Berechnung der Schichtdicke ermöglicht. Der Hauptvorteil der Versilberung ist die hervorragende elektrische Leitfähigkeit der Silberschicht. Bei Silberschichten, die zur Erhöhung der Härte noch andere Metalle enthalten müssen, kann die elektrische Leitfähigkeit stark vermindert sein, was besonders bei Anwendungen im Hochfrequenzgebiet beachtet werden muss.

Das Anlaufen des Silbers wird durch die überall in der Luft vorhandenen Schwefelverbindungen, die grösstenteils von der Verbrennung von schwefelhaltigen Brennstoffen herrühren, verursacht und beruht auf der Bildung von Silbersulfid Ag_2S . Durch diese Silbersulfidbildung wird die Oberfläche des Silbers schwarz verfärbt und sie kann die elektrischen Eigenschaften beeinflussen. Die Sulfidbildung kann durch dünne Schichten von Gold oder Rhodium verhindert werden. Dieses Ziel kann auch durch eine chemische oder elektrolytische Behandlung in verdünnter Chromsäure, wobei eine Chromatschicht (Passivierung) gebildet wird, erreicht werden, doch sind solche Chromatschichten nur begrenzt haltbar und abriebbeständig. Bei versilberten Teilen für hohe und höchste Frequenzen wirkt sich auch der erhöhte Übergangswiderstand der Chromatschicht ungünstig aus. Die Bildung von Silberoxyd findet erst bei höherer Temperatur statt und spielt bei Raumtemperaturen eine geringe Rolle. Wenn sich auf der Oberfläche eines Bauelementes Silberoxyd bildet, so kann sich diese Schicht nachträglich, unter der Einwirkung der Atmosphäre in Silbersulfid umwandeln.

4. Die Vergoldung

Die Anwendung des Goldes beruht auf seiner hervorragenden Korrosions- und Oxydationsbeständigkeit, sowie seiner sehr guten elektrischen Leitfähigkeit. Der hohe Preis dieses Metalles und der weite Bereich der Anwendungsmöglichkeiten haben dazu geführt, dass die Vergoldung hauptsächlich in drei Arten ausgeführt wird.

a) «Hauchvergoldung»

Mit «Hauchvergoldung» bezeichnet man Goldschichten aus Feingold und der Dicke von 0,2...0,5 µm. Ihre Anwendung erfolgt dort, wo man zu lötenden Teilen wie Lötfahnen, Lötpilzen, usw., einwandfreie Lötbarekeit und gute Lagerfähigkeiten verleihen will. Da diese dünne Goldschicht mit

der Zeit in das Grundmetall hineindiffundieren würde, ist es notwendig, dass dieses zuerst versilbert wird, (Schichtdicke 3...5 µm). Auf diese Weise übernimmt das Silber den Korrosionsschutz des Grundmetalls, während das Gold das Silber vor dem Anlaufen schützt.

b) «Vergoldung»

Mit «Vergoldung» bezeichnet man die Vergoldung mit Feingold mit Schichtdicken von 0,5 µm an aufwärts. Je nach Verwendungszweck wird die Vergoldung in verschiedenen Schichtdickenbereichen angewendet:

Schichtdicke 0,5...1 µm:	Anlaufschutz von versilberten Hochfrequenzteilen auf unbegrenzte Zeit und unter schwierigsten Bedingungen.
Schichtdicke 1...2 µm:	Für Kontaktfedern für gedruckte Schaltungen.
Schichtdicke 2...5 µm:	Für Wellenleiter.
Schichtdicke 2...10 µm:	Für Kontaktfinger und Schleiferbahnen von gedruckten Schaltungen.
Schichtdicke 5...20 µm:	Für mechanisch hochbeanspruchte Bauteile: Schalter, Schleifkontakte, Stecker.

Für die Vergoldung von gedruckten Schaltungen werden mit Rücksicht auf die Besonderheiten der kupferkaschierten Kunststoffplatten und der Kleber, mit denen die Kupferfolie auf die Grundplatte aufgeklebt ist, spezielle Goldbäder eingesetzt. Zur Erhöhung der Abriebbeständigkeit der Goldschicht werden bei diesen Bädern zusammen mit dem Gold meistens auch kleine Mengen anderer Metalle (0,1...2 %) mitabgeschieden.

c) «Hartvergoldung»

Mit «Hartvergoldung» bezeichnet man die Abscheidung von Goldlegierungen, die im allgemeinen einen Anteil von 10...35 % Legierungsmetallen enthalten. Durch eine zweckmässige Auswahl des Legierungsmetalls, bzw. der Legierungsmetalle und durch die Technik der Abscheidung ist es möglich, Goldlegierungsschichten herzustellen, die sich sehr gut für die Anwendung auf mechanisch hochbeanspruchten Teilen eignen. Die Härte und Duktilität solcher Hartgoldschichten, verbunden mit genügend hohem Feingehalt, verleihen ihnen nebst hervorragender Abriebfestigkeit sehr gute chemische und elektrische Eigenschaften. Die Schichtdicke oder Hartvergoldung beträgt je nach der geforderten Schalt- oder Umdrehungszahl 2...20 µm.

5. Die Rhodinierung

Das Rhodium zeichnet sich als Platinmetall durch seine ausserordentliche Korrosions- und Oxydationsbeständigkeit aus. So kann Rhodium auch mit Königswasser (3 Teile Salzsäure und 1 Teil Salpetersäure) nicht aufgelöst werden. Die Rhodinierung wird deshalb vorwiegend dort verwendet, wo höchste Korrosions- oder Anlaufbeständigkeit verlangt wird. Von allen galvanisch abgeschiedenen Metallen weisen die Rhodiumschichten die grösste Härte auf (650...1000 kg/mm²).

6. Anwendungen

Bevor zu den eigentlichen Anwendungsbeispielen übergegangen wird, ist es notwendig, über die Begriffe: elektrische Leitfähigkeit und Härte, nähere Angaben zu machen, da diese Eigenschaften zur Beurteilung des Verhaltens von galvanischen Edelmetallniederschlägen und für ihre zweckmässige Wahl von grosser Bedeutung sind.

Zusammenstellung verschiedener Eigenschaften von galvanisch abgeschiedenen und kompakten Metallen bzw. Metallegierungen
Tabelle I

Metall	Silber Ag	Gold Au	Au-Legierung (98...99 %)	Au-Legierung (65...85 %)	Rhodium Rh
Dichte [g/cm³]	10,5	19,3	17,5...18,5	14,5...16,5	12,4
Härte des galvanisch abgeschiedenen Metalls [kg/mm²]	60...160	60...120	150...200	300...450	620...950
Härte des kompakten Metalles (gegossen) [kg/mm²]	30...80	25...60	40...80	90...120	100...140
Spezifischer Widerstand des galvanisch abgeschiedenen Metalls [$\mu\Omega/\text{cm}$]	1,8...2,5	2,6...4,2	—	—	—
Spezifischer Widerstand des kompakten Metalles (gegossen) [$\mu\Omega/\text{cm}$]	1,59	2,35	—	—	4,51

Aus der Zusammenstellung in Tabelle I geht hervor, dass die galvanisch abgeschiedenen Edelmetalle und Edelmetalllegierungen eine grössere Härte haben als die entsprechenden kompakten (durch Giessen hergestellten) Metalle. Es ist dies eine Folge der bei der galvanischen Abscheidung stets auftretenden Deformation des Kristallgitters. Das ist auch die Ursache der verringerten elektrischen Leitfähigkeit. Was die Härte anbetrifft, so kann sie bei der Galvanik durch verschiedene Massnahmen in ziemlich weiten Grenzen beeinflusst werden. Es muss aber mit allem Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass die Härte allein kein genügendes Bild über das Verhalten eines galvanischen Edelmetallniederschlages gegen mechanische Beanspruchungen (Abrieb) gibt, und dass die sehr verbreitete Ansicht, dass ein härterer Niederschlag ein besseres Abriebverhalten zeigen müsse als ein weniger harter, höchst fragwürdig, in den meisten Fällen sogar falsch ist. Diese Ansicht wird den tatsächlichen Verhältnissen in keiner Weise gerecht, denn die an und für sich erwünschte Härte der galvanischen Edelmetallniederschläge kann sich nur dann im Sinne einer Verbesserung der Abriebbeständigkeit auswirken, wenn sie gleichzeitig mit einer genügend grossen Duktilität verbunden ist. Optimale Werte werden durch duktile Schichten mittlerer Härte erreicht, und umfangreiche Dauerversuche und langjährige praktische Anwendungen haben gezeigt, dass dieser zähharte Zustand in mechanischer, elektrischer und chemischer Hinsicht die besten Resultate ergibt. Die geringere elektrische Leitfähigkeit der galvanischen Edelmetallschichten kann ohne weiteres durch entsprechende Querschnittsverhältnisse kompensiert werden, da weniger der Absolutwert als die Konstanz von praktischer Wichtigkeit sind. Diese Konstanz in der elektrischen Leitfähigkeit und im Übergangswiderstand ist bei duktilen Schichten mittlerer Härte am besten gewährleistet.

a) Kontakte

Elektrische Kontakte von geringer bis hoher Strombelastung können dann mit Erfolg versilbert oder vergoldet werden, wenn keine Funkenbildung auftritt. Kontakte für die Anwendung im Starkstromgebiet werden normalerweise versilbert, mit Schichtdicken von 20...50 μm . Die damit erreichte Verringerung des Übergangswiderstandes ergibt geringere Erwärmung und entsprechende kleinere Verluste. Der Kontaktdruck ist meistens so gross, dass die sich bildenden Anlauffilme beim Schalten durchgerieben werden. Dieser Vorteil der Versilberung kann auch dort ausgenützt werden, wo stromlos geschaltet wird. Eine weitere Anwendung der Versilberung ist die Versilberung der Kontaktstellen von Sammelschienen, Verbindungslaschen usw., wobei solche Versilberungen auch auf Aluminiumleiter aufgebracht

werden können, wo sie wegen der unvermeidlichen Aluminimumoxydhaut ganz besondert angebracht sind.

Kontakte von Kontaktfedern, Kontaktmessern oder Kontaktbuchsen in Steckern und Steckerleisten oder Steckerplatten werden allgemein mit Feingold von 2 μm Dicke vergoldet. Dabei wird vorausgesetzt, dass eine solche Vergoldung ein 100...300maliges Stecken aushält, bevor die Goldschicht durchgerieben ist. Wenn die ganze Oberfläche der Steckerteile vergoldet ist, was je nach der Grösse dieser Teile der Fall sein dürfte, sind damit auch eine einwandfreie Lötbarkeit und eine gute Lagerfähigkeit gewährleistet.

Kontaktnieten aus Silber und Silberlegierungen werden mit 0,5 μm Feingold vergoldet, um den Übergangswiderstand zwischen Kontaktniete und Kontaktfeder niedrig und konstant zu halten.

Wenn es sich um bewegliche Kontakte handelt, werden die verlangten Betätigungszyhlen, Anzahl Schaltungen bei Schaltern und Anzahl Umdrehungen bei Schleifringen oder Kollektoren, sofort wesentlich höher. Solchen Anforderungen kann nur die Hartvergoldung [4] genügen. Mit 10 μm Schichtdicke hartvergoldete Schleifringe weisen nach $300 \cdot 10^6$ Umdrehungen mit einem Kontaktdruck von 40 g noch keine nennenswerte Abnutzung auf. Ein weiterer Vorteil der Hartvergoldung liegt darin, dass man in der Wahl des Materials für den Gegenkontakt weitgehend frei ist, da mit praktisch allen Kontaktmaterialien gute Ergebnisse erzielt werden können. Der Übergangswiderstand in Kontaktkombination mit Hartgoldauflage bleibt praktisch konstant. Es ist zu beachten, dass die Oberflächengüte der zu vergoldenden Kontaktflächen einen grossen Einfluss auf die Abriebbeständigkeit hat. Eine einwandfreie mechanische Bearbeitung ist daher die Voraussetzung zur Erreichung einer höchsten Abriebbeständigkeit.

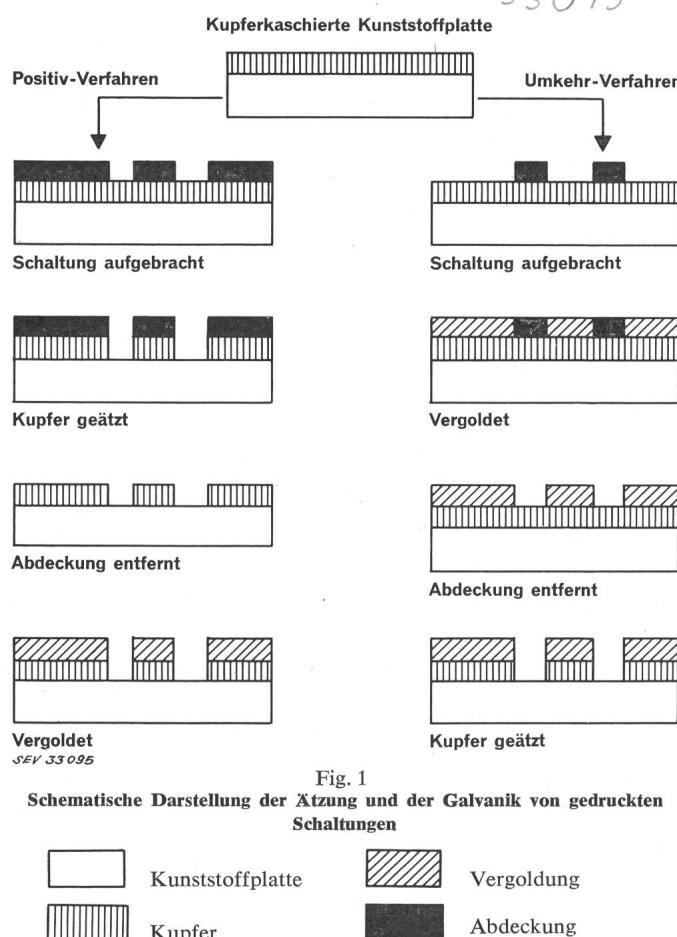
Bei Kontakten, die unter extrem korrosiven Einflüssen arbeiten müssen, wird die Rhodinierung angewendet. Die sehr grosse Härte des galvanisch abgeschiedenen Rhodiums bedingt aber, dass der Kontaktdruck so klein wie möglich gehalten wird. Bei zu hohem Kontaktdruck besteht die Gefahr, dass die harte Rhodiumschicht bricht, und dass die Rhodiumteilchen in das weichere Grundmetall hineingedrückt werden. Dies führt nach kürzester Zeit zur Zerstörung der Kontaktflächen, da die sehr harten Rhodiumteilchen als Abrasivmittel wirken. Die Rhodinierung wird mit Vorteil auch dort angewendet, wo Kontakte mit Quecksilberbatterien in Berührung kommen oder in deren Nähe angeordnet sind. Die Rhodinierung kann hiebei Gold oder Goldlegierungen ersetzen, die mit Quecksilber Amalgame bilden, was zu Störungen führen kann.

b) Gedruckte Schaltungen

Die Galvanik mit Edelmetallen von gedruckten Schaltungen ist eine weitere Anwendung dieser Technik. Die durch Ätzung entstandene Schaltung besteht praktisch immer aus mehr oder weniger breiten Kupferleitern von $35 \mu\text{m}$ Dicke, und in allen Fällen, wo eine oder mehrere der im Abschnitt 2 aufgeführten Forderungen gestellt wird, ist ein galvanischer Edelmetallüberzug notwendig. Hierfür kommen hauptsächlich Gold, Goldlegierungen und Rhodium in Frage.

Die Verwendung von Silberschichten auf gedruckten Schaltungen ist nicht zu empfehlen, wenn eine Gefahr besteht, dass die grosse Beweglichkeit der Silberionen zu Silberwanderungen führt [5]. Wenn nämlich Silber unter ständiger Gleichspannung in direkten Kontakt mit gewissen Isoliermaterialien kommt, so können Silberionen über die Oberfläche in das Material wandern, wo sie chemisch zu Silber reduziert werden. Diese Erscheinung wird durch hohe Spannungen und durch hohe Luftfeuchtigkeit verstärkt. Phenol-Formaldehyd imprägnierte Papierplatten zeigen diese Erscheinung besonders stark. Durch die Silberwanderung wird naturgemäß der Isolationswiderstand verringert.

Prinzipiell kann die Galvanik einer gedruckten Schaltung in zwei verschiedenen Stadien der Herstellung erfolgen, und zwar entweder nach oder vor der Ätzung der Kupferfolie (Fig. 1).



Beim erstgenannten Verfahren, dem sog. «Positiv-Verfahren» müssen alle Teile der Schaltung, die vergoldet werden sollen, miteinander durch die sog. Galvanoleiter verbunden bleiben, damit die galvanische Abscheidung möglich ist. Nach der Abscheidung werden die Galvanoleiter durch Bohren, Stanzen oder Wegschneiden unterbrochen. Bei sehr

komplizierten Schaltungen oder auch bei Miniaturschaltungen ist es oft nicht möglich, die Galvanoleiter so anzulegen, dass die Nachbearbeitung zu ihrer Unterbrechung oder Entfernung ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden kann. In diesen Fällen findet das sog. Umkehrverfahren Anwendung. Hierbei bleibt die Kupferfolie vorerst intakt und erst nach der Vergoldung wird die Schaltung geätzt, wobei die Vergoldung selbst die Rolle der Abdeckung übernimmt. Beim Positiv-Verfahren wird mit einem säurefesten Lack abgedeckt. Damit man beim Umkehrverfahren einwandfreie Leiter ohne Poren und Defekte erhält, muss die Goldschicht eine minimale Dicke von $2...3 \mu\text{m}$ haben. Für Schaltungen, bei denen keine oder nur eine Vergoldung geringer Schichtdicke angewendet wird, muss deshalb das Positivverfahren verwendet werden. Ein Vorteil des Umkehrverfahrens liegt darin, dass bei der Vergoldung noch die ganze Kupferfolie für die Leitung und Verteilung des Stromes zur Verfügung steht, was entsprechend gleichmässigere Schichtdicken der Goldschicht ergibt, als bei den oft langen Leitern mit kleinem Querschnitt beim Positivverfahren.

Die Vergoldung und die Hartvergoldung haben der gedruckten Schaltung, mit ihren günstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften, weitere bedeutende Anwendungsbiete geöffnet, die der Schalter und der Relais. Die Auslegung der ruhenden Kontakte nach dem Prinzip der gedruckten Schaltung ermöglicht eine sehr rationelle Herstellung solcher Bauteile in praktisch jeder gewünschten Grösse. Durch die Galvanik mit Gold oder Goldlegierungen können sehr hohe Schaltzahlen erreicht werden.

c) Transistoren

Bei der Herstellung von Transistoren treten Probleme auf, die im wesentlichen ausserhalb der im Abschnitt 2 genannten Aufgaben der Galvanik mit Edelmetallen liegen und die deshalb hier besonders besprochen werden sollen.

In Dioden und Trioden wird heute hauptsächlich Silizium und Germanium verwendet. Um diesen sehr reinen Halbleitern, welche eine kleine Leitfähigkeit haben, eine grosse n- oder p-Leitung zu überlagern, werden sie mit einem Metall der III. oder V. Gruppe des periodischen Systems der Elemente gedopt. Zur Erzielung der n-Leitung wird der Transistor mit einer Goldschicht, welche $0,001...1\%$ Antimon enthält, galvanisch vergoldet. Für p-Typ-Transistoren wird Gold mit einem Gehalt von $0,001...1\%$ Indium verwendet. In gewissen Fällen findet Gold mit einem Gehalt von $0,1...1\%$ Gallium Anwendung.

Durch diese Überzüge mit Goldlegierungen wird aber auch das Problem der Verbindung des Transistors mit der Basis gelöst. Gold bildet mit Silizium und Germanium niedrig schmelzende eutektische Legierungen. Dadurch wird eine einwandfreie Verbindung zwischen dem Halbleiter und den Zuführungen erreicht, wenn die Zuführungen ebenfalls vergoldet sind. Die Vergoldung der Zuführungen und der Basisplatte muss in einem Goldbad vorgenommen werden, das sehr reines Gold abscheidet. Bei der Vergoldung von allen Transistorteilen ist es von grösster Wichtigkeit, dass keine den Leitungsmechanismus störenden Metalle, wie z. B. Kupfer, mitabgeschieden werden. Die Grundplatten und die Zuführungen bestehen aus Wolfram, Molybdän oder aus Eisen-Kobalt-Nickellegierungen. Diese Metalle haben einen thermischen Dehnungskoeffizienten, der bis zu 200°C dem-

jenigen von Silizium und Germanium sehr nahe kommt. Damit kann vermieden werden, dass bei den durch die elektrische Belastung auftretenden Temperaturschwankungen der Halbleiter sich von den Zuführungen loslöst. Die Vergoldung der Basisplatte und der Zuführungen hat ferner noch die Aufgabe, diese Teile vor dem Angriff durch die Ätzlösungen zu schützen. Würde nämlich ein Transistor mit unvergoldeter Basisplatte und vergoldeten Zuführungen geätzt, so könnten dabei Ionen dieser Metalle in Lösung gehen und den Transistor «vergiften», d. h. der Leitungsmechanismus des Halbleiters würde ungünstig beeinflusst.

Die Schichtdicken der Vergoldungen in der Transistor-technik werden durch die Forderung nach der guten Verschmelzbarkeit (Lötbarkeit) von Halbleiter und Zuführungen und durch die Forderung des einwandfreien Schutzes der Metalle vor dem Angriff der Ätzlösungen bestimmt. Aus diesen Anforderungen ergeben sich Schichtdicken von 5...10 µm.

d) Hochfrequenzleiter

Bei Wechselströmen sehr hoher Frequenz, wie sie heute in der Mikrowellentechnik, beim Fernsehen und beim Radar angewendet werden, findet die Stromleitung wegen des Skineffektes nur in einer relativ dünnen Schicht an der Oberfläche des Leiters statt. Die Eindringtiefe des Stromes übersteigt hiebei je nach der Frequenz 15 µm nicht. Aus dieser Tatsache hat sich die Möglichkeit ergeben, durch galvanische Edelmetallniederschläge die Probleme der Leitfähigkeit und des Korrosionsschutzes der in diesem Frequenzgebiet verwendeten Koaxialkabel und Hohlleiter zu lösen. In bezug auf die Leitfähigkeit wären Niederschläge aus Silber am geeignetsten. Versilberte Koaxialkabel und Hohlleiter haben daher auch in grösserem Masse Anwendung gefunden. Es hat sich aber gezeigt, dass durch das Anlaufen der Silberschicht (Silbersulfidbildung), welches meistens nicht gleichmässig, sondern fleckenweise auftritt, Verzerrungen der Hochfrequenzsignale entstehen können. Es ist wohl möglich, durch relativ dünne Gold- oder Rho-

diumschichten das Silber vor dem Anlaufen zu schützen, doch da solch dünne Schichten immer Poren aufweisen, kann unter entsprechenden Bedingungen trotzdem durch die Poren ein Angriff des darunterliegenden Silbers stattfinden [6]. Um dies zu vermeiden, werden deshalb Koaxialkabel und Hohlleiter direkt vergoldet und die Zwischenversilberung weggelassen. Auf diese Weise wird die Stromleitung ausschliesslich von der Goldschicht übernommen, während dem Leiter aus Kupfer oder Messing die Funktion des mechanischen Trägers der leitenden Schicht bleibt. Durch die galvanische Vergoldung werden auch die bei mechanisch hergestellten Hohlleitern unvermeidlichen Lötfugen überbrückt. Durch den zusammenhängenden Goldüberzug, der gleichmässig die ganze Oberfläche des Hohlleiters bedeckt, werden Übertragungsverluste auf ein Minimum reduziert.

Eine weitere Anwendung der Galvanik, auch wenn sie nicht Edelmetalle betrifft, muss hier noch erwähnt werden. Bei Hohlleitern gibt es Teilstücke wie Krümmer, Stufentransformatoren usw., die mechanisch schwierig herzustellen sind. Solche Teile können mit Vorteil durch die galvanische Abscheidung von Schichten der Dicke von 2...5 mm aus Kupfer oder Nickel hergestellt werden [7]. Die so hergestellten Teile werden anschliessend auf üblicher Weise vergoldet.

Literatur

- [1] W. Flühmann: Die galvanische Goldplattierung in der Schweiz, «The Swiss Watch», Nr. 5, 1959.
- [2] A. Kleinle und O. Loebich: Galvanische Edelmetallplattierungen für die Elektrotechnik, «Galvanotechnik» 2, Band 53, 1962.
- [3] W. Flühmann: Technische Anwendungen galvanischer Goldplattierungen, «Galvanotechnik» 2, Band 53, 1962.
- [4] A. Keil: Der elektrische Kontakt als Gegenstand der Forschung und eines internationalen Erfahrungsaustausches, «Bulletin SEV» 55. Jahrgang, Nr. 2, 1964.
- [5] R. M. Burns und W. W. Bradley: Protective Coatings for Metals, Reinhold Publishing Corporation.
- [6] W. B. Harding: The tharnish resistance of gold plating on silver, «Plating», Vol. 47, Nr. 10, 1960.
- [7] ASTM Special Technical Publication No. 318, 1962.

Adresse des Autors:

W. Flühmann, Galvanische Anstalt, Heinrichstrasse 216, Zürich 5.

Koronafreie Dämpfungswiderstände

Von H. Kärner, München

621.316.8.018.8 : 621.316.9

1. Einleitung

Unter den Prüfverfahren für Hochspannungsdielektrika hat in den letzten Jahren die zerstörungsfreie Koronaprüfung in zunehmendem Mass an Bedeutung gewonnen. Das Verfahren besteht im wesentlichen darin, die von Teildurchschlägen in einem Dielektrikum herrührenden hochfrequenten Impulse zu messen und aus ihrer Intensität und Form Rückschlüsse auf den Ort der Teilentladung und auf die Beanspruchung der Isolation zu ziehen. Voraussetzung für die Durchführung solcher Messungen ist, dass die Prüfanlagen selbst sprühfrei bleiben oder einen so niedrigen Eigenstörpegel aufweisen, dass keine Verfälschung der am Prüfobjekt auftretenden Störwerte zu befürchten ist. In modernen Hochspannungslaboren ist man daher bemüht, sowohl die Hochspannungserzeuger als auch die notwendigen Verbindungsleitungen und Dämpfungswiderstände möglichst sprühfrei auszuführen.

2. Verwendungszweck von Dämpfungswiderständen

Dämpfungswiderstände werden in Hochspannungslaboren unter anderem für folgende Zwecke angewendet:

1. Schutz von Prüftransformatoren und Gleichspannungsanlagen bei Überschlägen am Prüfobjekt.
2. Kurzschlußstrombegrenzung von Prüftransformatoren und Gleichspannungsanlagen.
3. Kurzschlußstrombegrenzung an Kugelfunkenstrecken, um einen Abbrand des Kugelmaterials durch den Lichtbogen zu vermeiden.
4. Bedämpfung von Abschneidfunkenstrecken und Prüfobjekten bei Stoßbeanspruchung.

Im neuen Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule München¹⁾ stehen als Prüfspannungserzeuger eine 1,2 MV Wechselspannungsprüf-anlage, eine Gleichspannungsprüf-anlage für etwa 1,5 MV in Einwegschaltung mit Glättungskondensator und eine 3-MV-Stossanlage zur Verfügung. Da die Kurzschlußstrombegrenzung bei Wechsel-

¹⁾ Siehe Bull. SEV 54(1963)22, S. 961...962.