

ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE EM FIO DE CONSTANTAN PARA OBTENÇÃO DE SENSORES DE RADIAÇÃO SOLAR¹

CELSO JAMIL MARUR² e HILTON SILVEIRA PINTO³

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo ajustar uma metodologia para realizar a deposição eletrolítica de cobre em fio de constantan, a fim de obter um sensor de radiação do tipo termopilha. O fio de constantan, nº 40 AWG, foi previamente enrolado numa placa de circuito impresso medindo 7,8 cm de comprimento por 2,6 cm de largura e com 0,2 cm de espessura. Eletrodeposições de boa qualidade foram obtidas quando o sistema foi composto pelos seguintes componentes: 1. eletrólito: 250 g/l de sulfato de cobre mais 50 g/l de ácido sulfúrico e 2. densidade de corrente igual a 0,4 A.dm⁻². Entretanto, o processo que possibilitou os mais substanciais aumentos na qualidade da eletrodeposição foi a limpeza eletrolítica. Em vista dos resultados obtidos, pode-se dizer que a metodologia ajustada pode, seguramente, ser aplicada na construção de sensores de radiação do tipo termopilha.

Termos para indexação: placa de circuito impresso, eletrólito, termopilha.

ELECTROLYTICAL DEPOSITION OF COPPER ON CONSTANTAN WIRE FOR CONSTRUCTING RADIATION SENSORS

ABSTRACT - The objective of this work to develop a method for electrolytical deposition of copper on constantan wire as a means for constructing radiation sensors based on the thermocouple technique. Gage 40 AWG constantan wire was wound around a 7.8 x 2.6 x 0.2 cm glass fiber plate. Good quality deposition occurred when the electrolyte was formed by 250 g/l of copper sulfate mixed with 50 g/l of sulfuric acid together with a direct current of 0.4 A.dm⁻². Previous electrolytical cleaning was shown to have a strong influence on the final quality. In view of the results obtained, the technique can be recommended for the construction of thermocouple-based radiation sensors.

Index terms: electrolyte, fiber glass plate, thermopile.

INTRODUÇÃO

Reconhecendo que a pesquisa microclimática era, com frequência, barrada pela falta de equipamentos comerciais para medir radiação solar, a Organização Meteorológica Mundial recomendou, há mais de vinte anos, o

desenvolvimento e estudo crítico desses instrumentos, que reunissem, a preços moderados, fácil manuseio e aceitável precisão (Monteith & Szeicz 1962). Em consequência da natural defasagem da nossa pesquisa instrumental, pode-se considerar a citada invocação bastante atualizada.

De modo geral, de acordo com Fritschen (1979), a energia radiante pode ser detectada de três modos: 1. pela variação da temperatura de pequenas superfícies receptoras; 2. pela resposta de uma célula fotoelétrica (Selcuk & Yellott 1963 e Dirmihirn 1968) e 3. através de métodos fotoquímicos. Os aparelhos mais usados são os de sensibilidade térmica, onde o elemento sensor pode ser um conjunto de pares-termoelétricos (termopilha), que produzem uma força ele-

¹ Aceito para publicação em 13 de janeiro de 1992.

Extraído da Tese apresentada pelo primeiro autor à Universidade Estadual de Campinas, SP, para obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal. Financiado pelo MIC/STI.

² Eng. - Agr., M.Sc., Inst. Agron. do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, CEP 86100 Londrina, PR.

³ Eng. - Agr., Dr., Universidade de Campinas, CEP 13100 Campinas, SP.

tromotriz (f.e.m.) em função de um diferencial de absorção de radiação nas superfícies onde se encontram as junções dos termopares. Tal fenômeno se baseia no princípio, descoberto em 1821 por Johann Seebeck (Roeser 1941), de que uma corrente elétrica flui continuamente em um circuito fechado de dois metais dissimilares quando as junções são mantidas em diferentes temperaturas.

Como a construção de uma termopilha com fios sucessivamente soldados e enrolados numa placa pequena é extremamente difícil, tal aparato pode ser obtido através da eletrodeposição de um metal – por exemplo, o cobre – sobre um fio base – por exemplo, o constantan – previamente enrolado. Segundo Gier & Dunkle (1951), eletricamente esse tipo de termopilha é possível, porque a resistência elétrica do constantan é muito maior que a do cobre e, conseqüentemente, o último atua como condutor elétrico.

O poder termoelétrico do par cobre-constantan é de cerca de $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, fato que, dado o difícil acesso a microvoltímetros, vem a se tornar, muitas vezes, uma dificuldade operacional de trabalho. Entretanto, essa dificuldade pode ser contornada ao se conectar, em série, um número de termopares similares; assim, obtém-se uma termopilha com n termopares em série, que geram uma f.e.m. n vezes maior que a gerada por um só termopar. Desta maneira, portanto, pode-se satisfazer a exigência de que os pares termoelétricos apresentem uma f.e.m. suficientemente alta para ser medida com razoável precisão (Roeser 1941).

De acordo com Reuss (1971), dentre as fases usadas nos tratamentos de superfícies metálicas que sofrerão deposição eletrolítica, a limpeza é uma das mais importantes, envolvendo a eliminação de qualquer sujidade da superfície em tratamento, seja ela orgânica, líquida ou sólida, aderente ou não, que possa afetar a lisura e aderência de uma eletrodeposição.

Lingane (1958) postula que através de soluções salinas de metais simples geralmente se obtêm depósitos menos aderentes que os obtidos de soluções nas quais o metal está presente como íon complexo.

Segundo Hugeneyer & Spier (1971), a formação de um depósito catódico é o resultado de dois fenômenos: o primeiro consiste na formação de um núcleo proveniente da descarga de íons sobre o eletrodo; o segundo corresponde ao crescimento ou desenvolvimento desses núcleos. Se a velocidade de crescimento dos núcleos for superior à velocidade de formação, o depósito terá uma granulação grosseira e, caso contrário, a granulação será fina. Ainda, a concentração do eletrólito exerce grande influência na estrutura dos depósitos, sendo que altas concentrações favorecem a formação de uma estrutura fina.

Portanto, em função da necessidade de se obterem sensores para radiação, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção de uma termopilha, onde se procurou ajustar a metodologia para a deposição eletrolítica de cobre em fio de constantan.

MATERIAL E MÉTODOS

A seqüência de passos para obtenção de uma termopilha foi a seguinte: enrolamento, limpeza, eletrodeposição e revestimento.

Enrolamento: Uma placa de circuito impresso de fenolite, com 2,6 cm de largura por 7,8 cm de comprimento e 0,2 cm de espessura, onde somente as extremidades se achavam cobreadas, foi enrolada com 50 voltas de fio de constantan nº 40 AWG (Fig. 1-A e 1-B). A fim de possibilitar um cobreamento uniforme, todas as espiras foram colocadas em curto-circuito através de um fio de constantan passado ao longo do comprimento da placa.

Como a presente termopilha serviria para obtenção de um sensor para radiação líquida, a eletrodeposição deveria ocorrer somente em metade de cada espira. Assim, esmaltou-se a outra porção para protegê-la daquela operação.

Para que o fio passado ao longo do comprimento da placa pudesse se manter circuitado com as espiras durante o processo de eletrodeposição, ele foi protegido, antes do esmaltamento, com uma fita adesiva com 0,5 cm de largura.

Antes da eletrodeposição, porém, a placa passou pelo processo de limpeza, fundamental à obtenção de termopilhas isentas de defeitos.

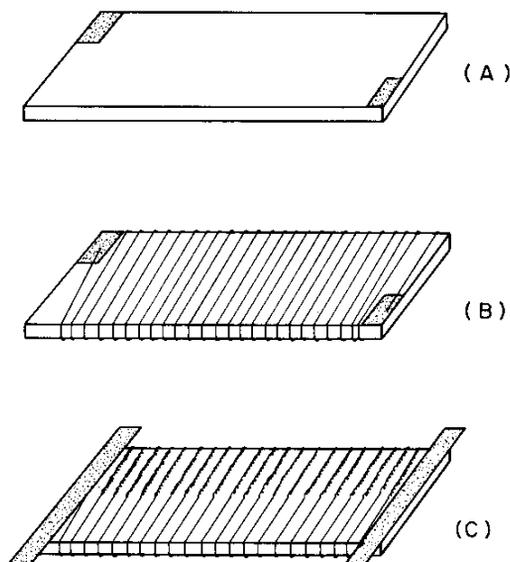


FIG. 1. Esquema da seqüência de operações para obtenção de um sensor de radiação: A - Placa de Fenolite com as extremidades cobreadas. B - fio de constantan enrolado à placa. C - fio de constantan com cobre depositado e suporte de cobre nas extremidades.

Limpeza: Após uma limpeza mecânica nas espiras através de esponja metálica abrasiva (bom-bril), utilizou-se o solvente Tetracloreto de Carbono e, em seguida, Álcool Isopropílico, ambos como desengordurantes do condutor de constantan.

De acordo com Reuss (1971), para o desenvolvimento fino de peças que sofrerão eletrodeposição, a limpeza eletrolítica é decisiva para a boa qualidade do acabamento, pois assim são removidos os últimos traços de óleos e graxas. Tal limpeza foi efetuada com o sistema composto pelos seguintes componentes: 1. eletrólito: solução aquecida de KOH, 1N; 2. cátodo: placa de zinco, e 3. anodo: placa com fio a ser limpo. Tal sistema funcionou por três minutos, com uma densidade de corrente de 2 A.dm⁻².

Para obtenção do valor da corrente aplicada ao sistema, foi necessário calcular o valor da superfície (S) do fio enrolado na placa, através de:

$$S = 2 \pi RL \quad (1)$$

onde R é o raio do fio de constantan (0,00025 dm) e L é o comprimento do fio (28 dm). Portanto,

$$S = 2 \pi \times 0,00025 \text{ dm} \times 28 \text{ dm} = 0,04398 \text{ dm}^2$$

Sabendo-se que a densidade é de 2 A.dm⁻², aplicou-se uma corrente no sistema de 0,090 A.

Após a limpeza eletrolítica, a placa foi imediatamente lavada com água destilada, de onde saiu pronta para a eletrodeposição.

Eletrodeposição: Apesar de haver indicação, na literatura (Lingane 1958), de que eletrólise de sais complexos produz sempre depósitos de melhor qualidade, no presente trabalho foi utilizado como eletrólito uma solução de sulfato de cobre. Em função de testes preliminares, foi adotada a seguinte fórmula:

sulfato de cobre:	250 g/l
ácido sulfúrico 96%:	50 ml/l

Para a efetivação do cobreamento (Fig. 2), o passo seguinte foi calcular o tempo de eletrodeposição conforme a lei de Faraday (Lingane 1958, Furlani & Milazzo 1963, MacInnes 1961), que estabelece:

$$m = z.i.t \quad (2)$$

onde m é a massa de cobre depositada, em kg, z é o equivalente eletroquímico do cobre (32,94.10⁻⁸ kg/Coulomb), i é a corrente em Ampères, e t é o tempo, em segundos.

A massa m foi obtida utilizando-se a seguinte expressão:

$$m = d.v \quad (3)$$

onde d é a densidade do cobre (8,89 g.cm⁻³) e v o volume a ser depositado, obtido através de

$$v = L \times A \quad (4)$$

onde L é o comprimento do fio a ser cobreado, que para uma placa com 50 espiras é igual a 140 cm, e A é a área de um corte transversal do condutor.

É recomendável que o raio R do fio de constantan, juntamente com o cobre depositado, seja o dobro do raio do fio original. O raio do fio cobreado, portanto, foi igual a 0,005 cm. Assim, a área de um corte transversal foi obtida através de:

$$A = \pi(R^2 - r^2) = \pi(0,005 \text{ cm})^2 - (0,0025 \text{ cm})^2 = 0,0000589 \text{ cm}^2$$

Assim, através de (4) tem-se
 $v = 140 \text{ cm} \times 0,0000589 \text{ cm}^2 = 0,008246 \text{ cm}^3$ e através de (3)

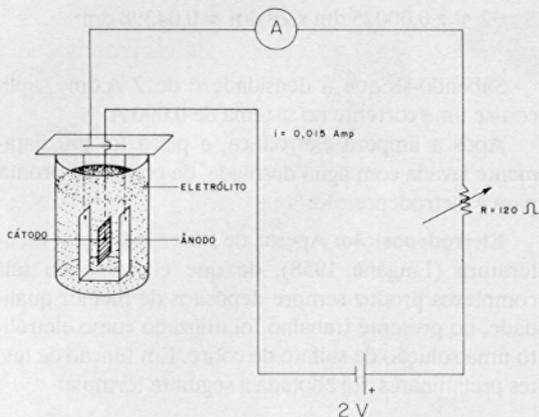


FIG. 2. Esquema do sistema utilizado para a operação de eletrodeposição.

$$m = 8,89 \text{ g.cm}^{-3} \times 0,008246 \text{ cm}^3 = 0,0733 \text{ g.}$$

Como a velocidade de eletrodeposição é diretamente proporcional à corrente circulante no sistema, e como se pretendia uma deposição lenta, foi decidido o emprego de uma densidade de corrente de $0,4 \text{ Amp. dm}^{-2}$, que se mostrou melhor em testes preliminares. Assim, em vista da superfície a ser cobreada, o valor calculado foi de aproximadamente $0,017 \text{ A}$, mas, para facilidade de controle, foi empregada uma corrente $0,015 \text{ Amp}$.

De posse dos valores de m , z , e i , efetuou-se, finalmente, através de (2), o cálculo do valor do tempo.

$$t = \frac{0,0733 \times 10^{-3} \text{ kg}}{32,94 \times 10^{-8} \text{ kg.Coul}^{-1} \times 0,015 \text{ A}} = 14835 \text{ s}$$

Portanto, a operação de eletrodeposição se desenvolveu por quatro horas e sete minutos.

Revestimento: Após a realização do cobreamento, a placa foi completamente limpa. Em seguida, uma tira de cobre de $4,5 \times 0,5 \text{ cm}$ foi soldada nas duas extremidades cobreadas (Fig. 1-C).

Para maior uniformidade, bem como para proteção da termopilha, a superfície total da placa foi uniformemente revestida com uma fina camada de epoxi. O revestimento final foi feito através de pintura com uma tinta especial, Nextel Velvet Black -3M-101-C10, de emissividade próxima a 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da eletrodeposição de cobre em fio de constantan pode ser observado na Fig. 3. Tal resultado foi obtido depois de se testarem várias fórmulas de eletrólito, velocidades de deposição e processos de limpeza.

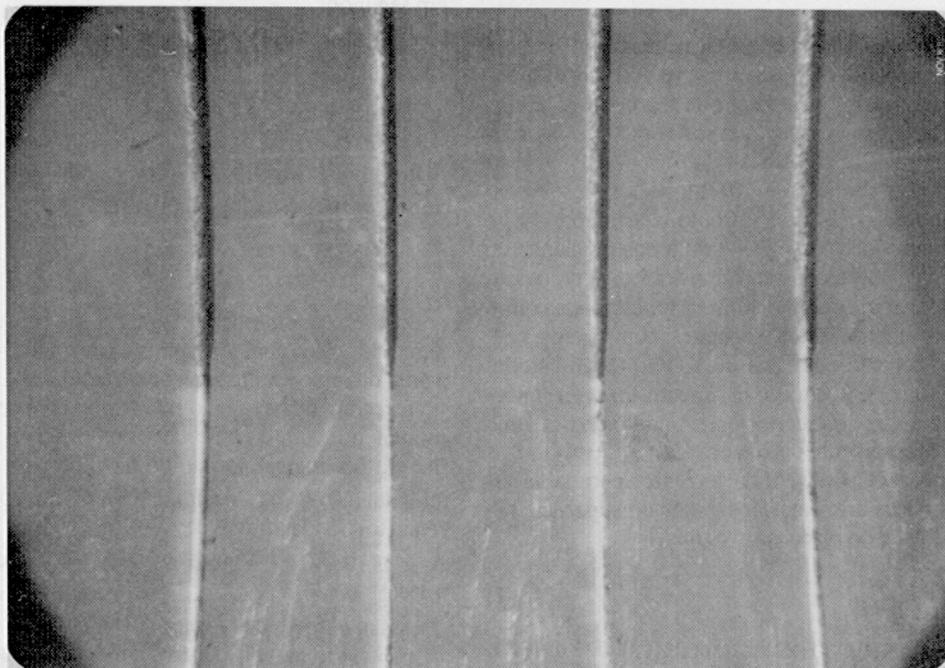


FIG. 3. Aspecto da eletrodeposição de cobre em fio de constantan.

Inicialmente, quando se testaram eletrólitos com baixas concentrações de sulfato de cobre, as deposições obtidas foram sempre grosseiras. A concentração de 250 g/l, juntamente com a adição de ácido sulfúrico à solução, levaram à obtenção de um bom resultado. Segundo Hugeneyer & Spier (1971), o ácido sulfúrico propicia a condutividade necessária para se poder operar a eletrólise; como influi também no equilíbrio da ionização do sulfato de cobre, possibilita a formação de camadas de cristais finos.

Outro fator importante foi a velocidade com que se fez a eletrólise. Nas primeiras tentativas, as deposições obtidas mais rapidamente

também se apresentavam com aspectos mais grosseiros, sendo que a qualidade foi melhorada à medida que se diminuiu a densidade de corrente no sistema. Entretanto, pode-se dizer seguramente que o processo mais importante do trabalho foi a limpeza eletrolítica, através da qual se obtiveram os mais substanciais aumentos na qualidade da deposição.

A termopilha, pronta para receber o revestimento final, pode ser observada na Fig. 4. Após este revestimento, ela já estaria em condições de ser adequadamente instalada num corpo para a obtenção final de um radiômetro líquido.

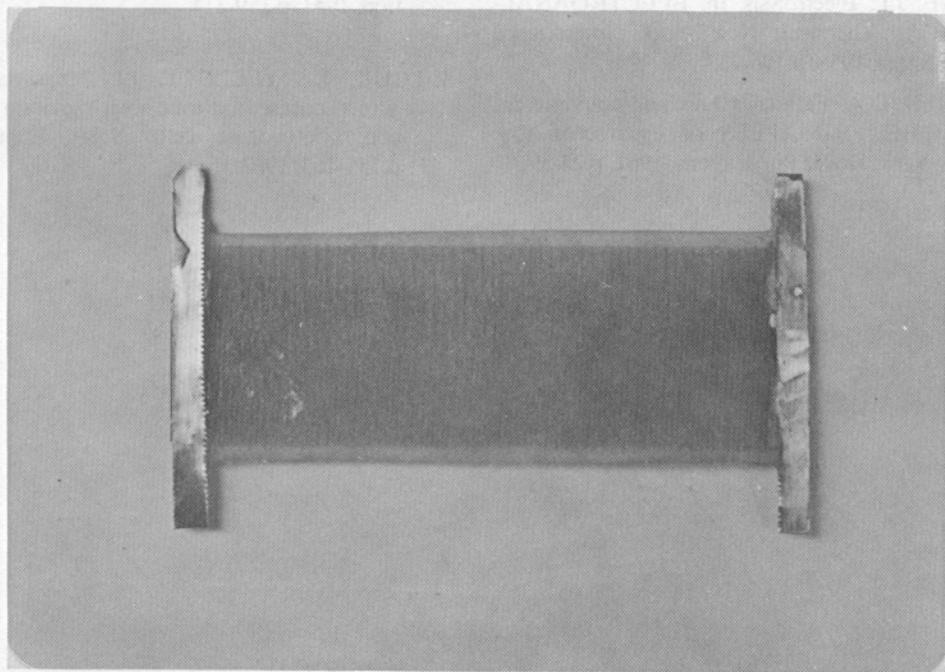


FIG. 4. Sensor de radiação, com camada protetora de epoxi e pronto para receber o revestimento final.

CONCLUSÃO

Em vista dos resultados obtidos, pode-se dizer que a metodologia ajustada no presente trabalho pode ser seguramente aplicada na construção de sensores de radiação do tipo termopilha.

REFERÊNCIAS

- DIRMIHIRN, I. On the use of silicon cells in meteorological radiation studies. *Journal of Applied Meteorology*, v.7, p.702-707, 1968.
- FRITSCHEN, L.J. Radiation. In: ENVIRONMENTAL instrumentation. New York: Springer-Verlag, 1979. p.93-117.

- FURLANI, C.; MILAZZO, G. Electrolysis and electrochemical kinetics in aqueous solutions. In: MILAZZO, G. (Ed.). **Electrochemistry**; theoretical principles and practical applications. [S.l.]: Elsevier Publishing Company, 1963. p.184-274.
- GIER, J.T.; DUNKLE, R.V. Total hemispherical radiometers. **Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers**, v.70, p.339-343, 1951.
- HUGENNEYER, C.; SPIER, L.R. Eletrodeposição de materiais; teoria e introdução. In: BRADASCHIA, C. (Ed.). **Corrosão e tratamentos superficiais dos metais**. [S.l.]: Associação Brasileira dos Metais, 1971. p.233-248.
- LINGANE, J.L. Electrolysis. In: **ELECTROANALYTICAL chemical**. New York: Interscience Publishers, 1958. p.196-233.
- MACINNES, D.A. Faraday's Law and coulometers. In: **THE PRINCIPLES of electrochemistry**. New York: Dover Publications, 1961. p.22-39.
- MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. Simple devices for radiation measurement and integration. **Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie**, v.11, p.491-500, 1962.
- REUSS, F. Desengraxamento e limpeza de metais. In: BRADASCHIA, C. (Ed.). **Corrosão e tratamentos superficiais dos metais**. [S.l.]: Associação Brasileira de Metais, 1971. p.131-146.
- ROESER, W.F. Thermoelectric thermometry. In: FAIRCHILD, C.D.; HARDY, J.D.; SOSMAN, R.B.; WENSEL, H.T. (Eds.). **Temperature-Its measurement and control in science and industry**. [S.l.]: Reinhold Publishing Corporation, 1941. p.159-314.
- SELCUK, K.; YELLOTT, J.I. Measurement of direct, diffuse and total solar radiation with silicon photovoltaic cells. **Solar Energy**. v.6, p.155-163, 1963.