

Refrigerador termoelétrico de peltier usado para estabilizar um feixe laser em experimentos didáticos

(*Thermoelectric cooler peltier used to stabilize a laser beam in educational experiments*)

Paulo Roberto de Moura¹, Danilo Almeida²

¹*Instituto Estadual de Educação, Florianópolis, SC, Brasil*

²*Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil*

Recebido em 4/7/2013; Aceito em 6/8/2013; Publicado em 6/2/2014

É apresentado um experimento onde os alunos montam um sistema de estabilização térmica de um laser de diodo mantido a temperatura controlada e estabilizada utilizando materiais de baixo custo. Um circuito de controle baseado no efeito Peltier foi montado para estabilizar um sistema ótico composto de uma ponteira laser e de optodiodos para a detecção dos feixes espalhados e transmitido. Os efeitos físicos associados são discutidos permitindo aos estudantes a fixação dos conteúdos teóricos na área de termodinâmica e de semicondutores.

Palavras-chave: efeito Peltier, laser de diodo.

An experiment in which the students assemble a system of thermal stabilization of a diode laser held at controlled temperature and stabilized using low-cost materials is presented. A Peltier controller circuit is presented for stabilize an optical system composed by laser pointer and optodiodes. The associated physical effects are discussed allowing the students to learn theoretical contents in the areas of thermodynamics and semiconductors.

Keywords: Peltier effect, laser diode.

1. Introdução

A construção de instrumentos pelo próprio aluno favorece a compreensão dos princípios físicos envolvidos e as limitações do aparato experimental utilizado. A solução de problemas inerentes à construção de arranjos experimentais é eficaz na fixação de conteúdos e a discussão de temas teóricos correlatos ao problema físico investigado, explicitando o valor da experiência pessoal no desenvolvimento cognitivo. Por outro lado, a falta de atividades experimentais é vista como uma das principais causas da deficiência em relação à aprendizagem [1].

O laser desenvolvido nos anos 1960's tem se popularizado em laboratórios de ensino da física moderna, em particular nos estudos de ótica. A ponteira laser já faz parte do cotidiano dos alunos e pode ser amplamente aplicada pelo seu baixo custo e disponibilidade no comércio. Para obter-se sua estabilidade de operação, seja no comprimento da luz ou na potência irradiada, é necessário o controle da corrente de alimentação e da temperatura de operação. Variações maiores que 0,01 K podem causar alterações significativas no comprimento de onda e potência emitida pelo laser de diodo.

No presente trabalho apresentamos um sistema de

estabilização de uma ponteira laser pelo controle preciso da corrente de alimentação e da temperatura tanto do diodo laser como dos optodiodos utilizados para medição dos feixes de luz. É apresentada uma solução de baixo custo por meio de um refrigerador termoelétrico baseado no princípio Peltier para manter os diodos à temperatura constante.

Piotr Leonidovich Kapitsa, na década de 1930 estudou métodos existentes para a obtenção de baixas temperaturas, desenvolvendo em 1934 um aparelho novo e original para fazer grandes quantidades de hélio líquido [2]. Kaptisa enfatiza que:

Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá muito melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para sua experimentação [2].

Como aplicação do experimento, construímos um sistema para medir a transmissão e a reflexão da luz incidente sobre uma lâmina de vidro comumente usada em microscopia ótica. Sobre essa lâmina é possível depositar filmes finos de diferentes naturezas, permitindo assim explorar o fenômeno da transmissão e da reflexão da luz sobre a superfície de interesse.

²E-mail: dpadaniilo@hotmail.com.

1.1. O princípio Peltier

Thomas Johann Seebeck, em 1821, descobriu que uma junção de metais distintos produz uma tensão elétrica cujo valor depende dos materiais constituintes e da temperatura a que se encontra (efeito termoelétrico) [3]. Na década seguinte, Jean Charles Athanase Peltier descobriu que a passagem de uma corrente elétrica através da interface formada por dois condutores diferentes gera um gradiente de temperatura na junção. Assim, dependendo do sentido da corrente elétrica poder-se-ia aquecer ou resfriar. Uma descrição teórica desses efeitos foi dada por William Thomson, 1º Barão Kelvin, que fez importantes contribuições na análise matemática da termoeletricidade [4], sendo bem conhecido por desenvolver a escala Kelvin de temperatura absoluta.

Mais tarde, entre 1909-1911, o físico alemão Edmund Altenkirch mostrou que bons materiais termoelétricos devem possuir grandes coeficientes de Seebeck, condutividade elétrica elevada (para minimizar o aquecimento por efeito Joule), e baixa condutividade térmica, o que retém o calor nas junções gerando um gradiente de temperatura [5]. Entretanto, condutores metálicos eram os únicos materiais disponíveis na época, inviabilizando sua aplicação para fins práticos.

O desenvolvimento de semicondutores em 1920 com coeficientes de Seebeck superiores a 0,1 V/K aumentou o interesse em termoeletricidade. Em 1931, A.F. Loffe, professor de P Kaptisa, já previa a importância dos semicondutores na termoeletricidade como geradores elétricos e refrigeradores [6]. Na década de 1950, Ioffe e seus colegas desenvolveram a teoria da conversão termoelétrica por semicondutores.

A refrigeração termoelétrica pode ser obtida pela passagem de corrente direta por um ou mais junções de materiais semicondutores do tipo-n e do tipo-p [6-8]. Uma típica pastilha de Peltier conterá uma série de elementos semicondutores, agrupados como pares, como na Fig. 1, que agirão como condutores dissimilares.

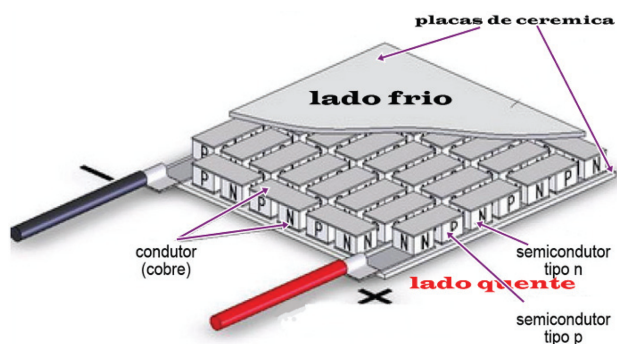


Figura 1 - Desenho esquemático de uma pastilha Peltier obtido de <http://estacaodofriorefrigeracao.blogspot.com.br>.

Para resfriamento, a corrente DC direta deve passar sucessivamente do material semicondutor tipo-n para o tipo-p. Dessa forma haverá absorção de calor nessas junções e a temperatura da placa fria (T_f) diminuirá.

Ao aplicar-se uma tensão direta à junção p-n, pares elétron/buraco são criadas perto da junção. Elétrons migram para regiões de maior potencial elétrico, em movimento contrário aos buracos no material tipo p, absorvendo o calor do processo de recombinação. O resfriamento ocorre quando elétrons passam do nível baixo de energia no semicondutor do material tipo-p para um nível de energia mais elevado no material semicondutor tipo-n. O calor absorvido é transferido até a junção seguinte que se encontra a temperatura quente T_q , sendo liberado à medida que os elétrons retornam ao nível baixo de energia no material tipo-p. Esse conjunto de elementos é fixado entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo, fornecendo calor de forma homogênea às superfícies do módulo, permitindo um fluxo térmico constante por unidade de área. Assim, efetivamente bombeia calor da fonte fria T_f para a superfície quente T_q . A capacidade de bombeamento de calor de um resfriador é proporcional à corrente e o número de pares de elementos p-n.

Refrigeradores termoelétricos (RTE) são adequados para controle de precisão de temperatura, requerido como no resfriamento de lasers e optodiodos. Tais módulos são construídos com uma ampla área de contato térmico apresentando longa durabilidade e baixo peso. Tipicamente, a potência máxima que se pode transferir com um único módulo é de aproximadamente 250 W [9].

Note que o calor fornecido ao lado quente inclui o que foi transferido pelo módulo adicionado ao gerado por efeito Joule no semicondutor. No equilíbrio térmico, o módulo refrigerador garantirá a diferença de temperatura $T_q - T_f$ sendo necessário um dissipador térmico para drenar o calor gerado. O calor produzido na operação dos RTE's é drenado com o uso de dissipadores. Como a condutividade térmica do ar atmosférico é baixa, em geral obtêm-se escoamentos de calor com maior velocidade por convecção forçada, onde o fluxo de calor estabilizado pela turbulência do ar na região do dissipador. Normalmente, isto é feito utilizando combinações de ventilador e dissipador de calor. A emissão de calor por radiação (radiação de corpo negro) pode ser descartada pela reduzida temperatura T_q da presente aplicação.

Define-se o coeficiente de desempenho (COD) como a razão entre a quantidade de calor transferida e a potência suprida ao sistema. O COD depende da aplicação, do calor transferido e da diferença de temperatura necessitada. Tipicamente, este fator é entre 0.4 e 0.7 para aplicações de estágio simples.

2. Montagem experimental

Neste trabalho, a superfície quente foi acoplada mediante aplicação de pasta térmica (disponível na maioria das lojas de suprimentos eletrônicos) a um dissipador, cuja troca de calor é forçada pela aplicação de uma

ventoinha. Utilizamos a carcaça de uma fonte de alimentação de microcomputador onde mantivemos apenas a ventoinha já existente.

O lado frio do módulo Peltier encontra-se em contato térmico com o suporte metálico (RTM) com grande capacidade térmica que abriga os fotodiodos para medir a reflexão/transmissão e a ponteira de diodo laser. Uma visão geral da montagem pode ser vista na Fig. 2.



Figura 2 - Visão geral do RTM e do dissipador de calor.

A base do RTM (Fig. 3) foi construída a partir de um bloco cilíndrico de latão de 10 cm de diâmetro e 3,5 cm de altura, munido de um obturador que permite interromper o feixe laser. Na parte central do bloco há uma fenda perpendicularmente à base, com 2,6 cm de largura e 3 cm de profundidade, para inserção e remoção do substrato de vidro permitindo examinar um filme reflexivo sob investigação. Utilizamos como suporte uma lâmina de microscopia ótica feita em vidro sodalima. O bloco foi perfurado diametralmente paralelo à base, onde o feixe laser incide diretamente ao optodiodo de leitura do feixe transmitido (I_t). Um segundo optodiodo é posicionado a 135° com a direção de incidência permitindo a medida da intensidade da fração refletida (I_r) na superfície da lâmina de vidro.

Utilizamos um laser de diodo, classe IIIa; potência de saída entre 1 e 5 mW. O comprimento de onda $\lambda = 640$ nm foi confirmado em um experimento prévio por meio de uma rede de difração de 530 linhas por milímetro.

Outro fator concorrente para a estabilização dos diodos e da ponteira laser é a alimentação elétrica. Usamos fonte de tensão, marca Scharoff modelo T50U 15,5 com precisão de 0,01% para alimentar a ponteira laser e outra fonte DC marca Tectrol, modelo TC30-015 para os diodos de leitura dos feixes emergentes e para a alimentação do circuito eletrônico de controle da temperatura. As leituras das correntes dos fotodiodos de monitoramento da intensidade da luz transmitida I_t e refletida I_r foram realizadas por um eletrômetro digital

marca Keithley modelo 616, por um par de fotodiodos sensíveis à luz visível, que para o presente adotamos o modelo SFH206K da Siemens Co., veja a Ref. [10]. Utilizamos um módulo Peltier fabricado por Marlow Industries Europe, modelo DT12-6-01LS. Maiores informações sobre a pastilha Peltier pode ser obtida no sítio do fornecedor comercial na Ref. [11].

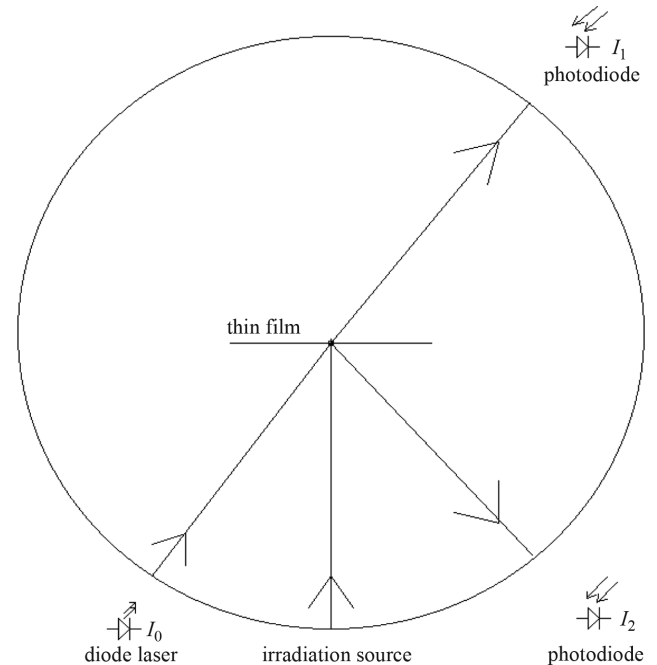


Figura 3 - Desenho esquemático do RTM.

Como sensor de temperatura, utilizamos um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) termicamente acoplado ao RTM. O NTC é feito de compostos semicondutores, como os óxidos de ferro, magnésio e cromo apresentando resistência elétrica inversamente dependente da temperatura. Devido a seu comportamento não linear, o NTC é utilizado numa faixa pequena de temperaturas, em que a curva pode ser aproximada a um seguimento de reta. O termistor foi montado em uma configuração de ponte resistiva com um resistor de calibração, permitindo a definição de um ponto de ajuste na operação (*set point*). O circuito eletrônico de controle de temperatura fornece a corrente elétrica DC para o Peltier por uma malha de retroalimentação ajustando a temperatura do RTM. Esta ponte foi alimentada por uma fonte estabilizada bipolar de ± 12 V, marca Tectrol, modelo TC30-015.

Na Fig. 4 apresentamos um diagrama de blocos detalhando as etapas necessárias ao controle da pastilha Peltier. Diferentes implementações podem ser aplicadas, desde que o controle da temperatura mantenha-se na faixa de 1 mK. A unidade sensora consiste em uma ponte resistiva com o NTC e um resistor de ajuste do ponto de operação; unidades de ganho de tensão e de filtro para evitar a interferência de variações transientes; e finalmente uma unidade de potência capaz de

manter estável a corrente na ordem de 10 A circulando pela pastilha Peltier.

A Fig. 5 mostra o diagrama esquemático do circuito de controle da temperatura adotado na presente montagem. On detalhamento do projeto eletrônico foi apresentado em Cavasso *et all.* [12]. Uma visão geral da montagem do circuito é apresentada na Fig. 6.

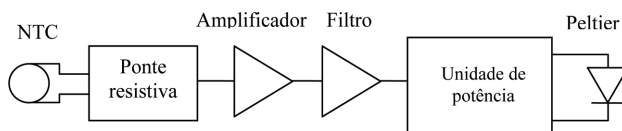


Figura 4 - Diagrama de blocos de controle da corrente de alimentação do módulo Peltier.

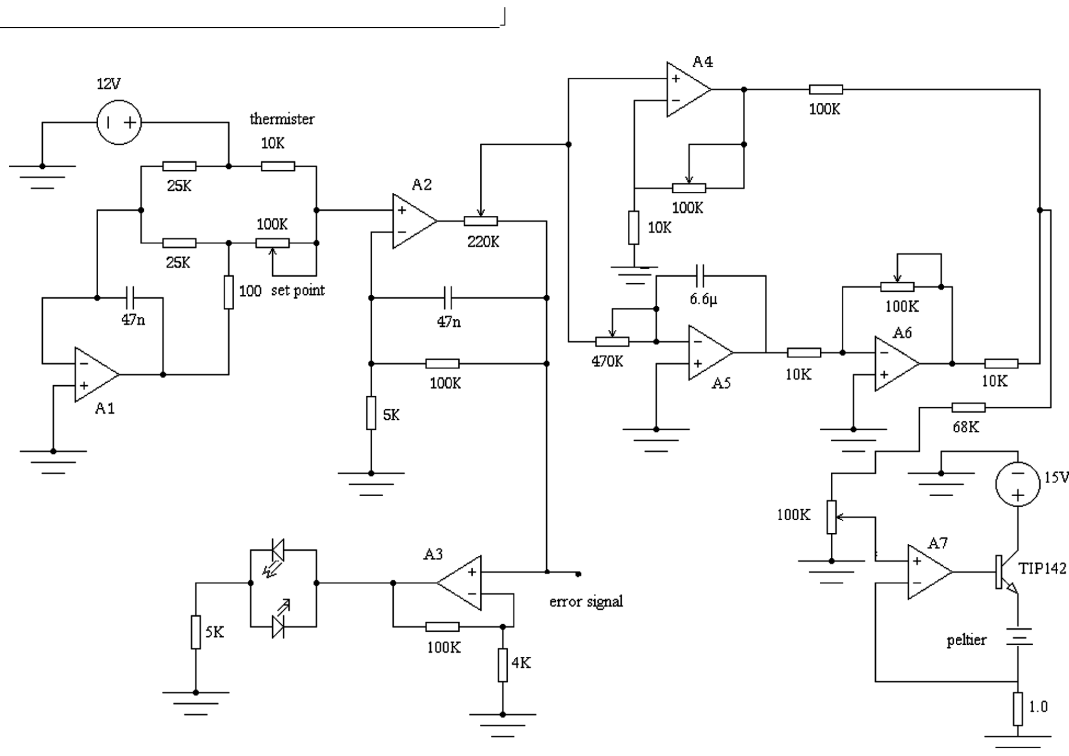


Figura 5 - Diagrama esquemático do circuito de controle da corrente de alimentação do módulo Peltier.

Aqui são descritos os detalhes relevantes do funcionamento do circuito. A tensão de entrada no amplificador operacional A2 é proporcional à diferença entre a resistência do termistor e ponto de ajuste. Este sinal de erro é amplificado e enviado para um estágio de integração proporcional formado pelos amplificadores operacionais, A4, A5 e A6. Depois de tratado e amplificado, o sinal alimenta a fonte de corrente formada pelo amplificador operacional A7 e o transistor darlington TIP142, que exerce o controle da corrente elétrica que circula entre os terminais do Peltier.

Antes da inserção da lâmina de vidro no RTM são realizadas medidas de ajuste e calibração. Foi monitorada a irradiação incidente (I_o), partindo do laser de diodo, a cada 10 minutos por 2 horas. A Fig. 7 mostra a intensidade incidente como função do tempo antes da atuação do circuito de controle de temperatura. Na Fig. 8 é apresentado o comportamento da leitura da intensidade de luz incidente medido a cada 10 minutos ao longo de duas horas.



Figura 6 - Vista da montagem do circuito eletrônico de controle montado no protoboard.

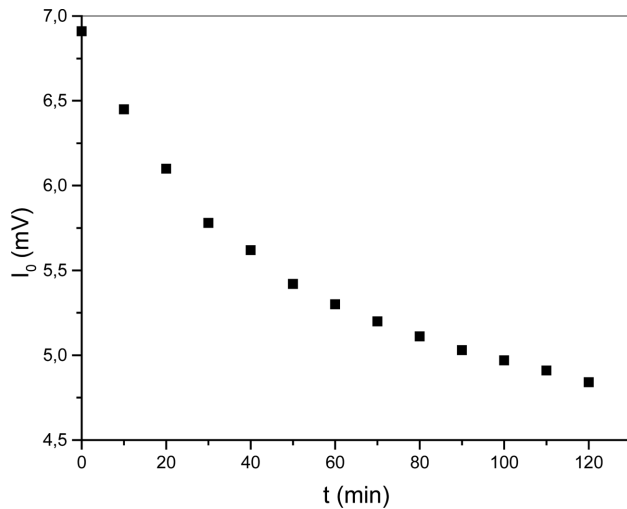


Figura 7 - Medida de I_0 com o laser de diodo não estabilizado.

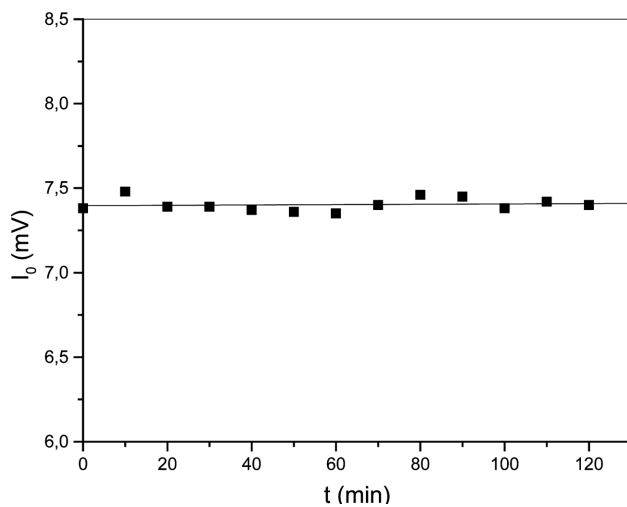


Figura 8 - Medida de I_{to} com o laser de diodo estabilizado termicamente.

Após o monitorado de I_o , a lâmina de vidro com filmes finos depositados podem ser analisados sob o aspecto de transmissão e de reflexão da luz na superfície. O sistema aqui apresentado foi utilizado em experimentos apresentados nas Refs. [13, 14]. Tais estudos evidenciam propriedades dos filmes calcogênicos investigados.

3. Conclusões

O efeito Peltier permite importantes aplicações tecnológicas, servindo como base para a montagem de dispositivos termoeletricos. Utilizamos um aparato experimental simples para fazer a estabilização térmica necessária à emissão de um feixe de luz laser e dos fotodiodos de detecção da intensidade de luz transmitida e

refletida. Foi também apresentado o circuito elétrico de controle da temperatura do sistema óptico, permitindo ao estudante vivenciar diferentes aspectos da montagem laboratorial.

Neste trabalho, é apresentado um experimento didático construído com materiais de baixo custo que permite medidas precisas da transmissão e reflexão da luz produzida por uma ponteira laser. Obtivemos estabilidade melhor que 1% na potência de emissão laser, corrigindo a deriva térmica da leitura da ordem de 1:400 na dispersão das medidas da intensidade como função do tempo.

Referências

- [1] S.M. Arruda e E.C. Laguru, "Questões Atuais no Ensino de Ciências". R. Nardi (org.). São Paulo: Editora Escrituras, (1998). A.T. Borges, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **19**, 291 (2002). D. Gil-Pérez e P. Valdés Castro, Enseñanza de las Ciencias **14**, 155 (1996). D. Hodson, Journal of Philosophy of Education **20**, 53 (1988).
- [2] P. Kaptisa, *Experimento, Teoria e Prática: Artigos e Conferências* (Editora Mir, Moscou, 1985).
- [3] Th.J. Seebeck "Magnetische Polarisation der Metalle und Erze Durch Temperatur-Differenz" 1822-1823 Ed. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften **70** (1895).
- [4] W. Thomson Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci. **3**, 91 (1851).
- [5] E. Altenkirch, Physikalische Zeitschrift **10**, 560 (1909); Physikalische Zeitschrift **12**, 920 (1911)
- [6] Vide: Proceedings of XVII International Conference on Thermoelectris, org. by M.V. Vedernikov and E.K. Jordanishvili, St. Petersburg, Russia, 1988, pp 37-42.
- [7] H.J. Goldsmid e R W Douglas, Br. Appl. Phys **5** 386 (1954).
- [8] C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics* (Wiley, New York, 2005), 8th ed.
- [9] L. Bell, Scienc **321**, 1457 (2008)
- [10] http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/90/486480_DS.pdf.
- [11] Veja por exmplo o sítio <http://www.peltier.com.br/>.
- [12] R.L. Cavasso, A.F. Lago, M.G.P., Homem, S. Pilling e A. Naves de Brito, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom. **156**, 168 (2007).
- [13] P.R. Moura, D.P. Almeida, J.C. Lima, C.E.M. Campos, C.R. Ponciano, Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo **28**, 25, (2009).
- [14] P.R. Moura, D.P. Almeida, J.C. Lima, C.E.M. Campos, C.R. Ponciano, Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo **28**, 1, (2009).