

S. Bauer, R. Fettig, B. Ploss

Dünne Metallfilme als Absorber in Infrarotsensoren

Bei thermischen IR-Sensoren wird der einfallende Energiestrom in einer geeigneten Absorberstruktur absorbiert. Die hierdurch hervorgerufene Erwärmung des Sensors läßt sich mit Hilfe verschiedener physikalischer Effekte nachweisen. Im Thermoelement nutzt man den Seebeck-Effekt, im pyroelektrischen Sensor die Temperaturabhängigkeit der spontanen elektrischen Polarisierung, den pyroelektrischen Effekt. Für die verschiedenen Anwendungsbereiche werden Absorber mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit gebraucht. Während zur Anwendung in Spektrometern zumeist eine konstante Empfindlichkeit über einen großen Wellenlängenbereich wichtig ist, müssen Sensoren für Strahler mit Umgebungstemperatur im Wellenlängenbereich zwischen etwa 7 μm und 15 μm empfindlich sein. Für eine hohe Empfindlichkeit ist es bei allen Arten thermischer Sensoren wichtig, daß die Wärmekapazität des gesamten Sensors möglichst klein ist. Aus diesem Grund muß der Absorberstruktur besondere Beachtung geschenkt werden.

Dünne Metallfilme sind breitbandige Infrarotabsorber mit sehr kleiner Wärmekapazität [1]. Dünn heißt, daß die Dicke des Films klein ist gegen die Wellenlänge und die Eindringtiefe der einfallenden Strahlung. Freitragend sind solche dünnen Filme nicht realisierbar, sie müssen auf ein Substrat aufgebracht oder zwischen zwei dielektrische Materialien eingebettet werden. Für die Reflexion und die Transmission der elektrischen Feldstärke an einer dünnen Metallschicht der Dicke d und der elektrischen Leitfähigkeit σ , die zwischen

Der Nachweis und die Messung von Infrarotstrahlung gewinnen zunehmend an Bedeutung in den unterschiedlichsten Bereichen. Ungekühlt arbeitende IR-Sensoren höchster Nachweisempfindlichkeit werden z. B. in Infrarotdetektoren auf Weltraumsatelliten eingesetzt. Im Bereich der Labormesstechnik und der Umweltanalytik dienen IR-Sensoren als Detektoren in Spektrometern, speziell in Fourier-Spektrometern. Einfache IR-Sensoren finden Massen Anwendungen zur Personendetektion, in Alarmanlagen, automatischen Türöffnern und zur Messung der Wärmestrahlung aus industriellen Prozessen. Als Absorbermaterial weisen Metallfilme hervorragende Eigenschaften auf.

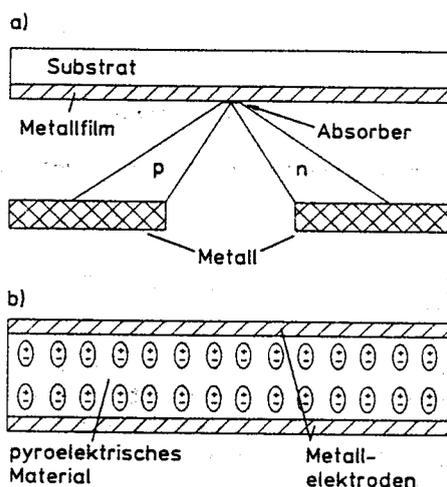


Abb. 1: Schema eines thermoelektrischen (a) und eines pyroelektrischen (b) Infrarotsensors. Beim thermoelektrischen IR-Sensor formen p- und n-leitendes Halbleitermaterial ein punktförmiges Thermoelement. Es sitzt auf einer als Wärmesenke dienenden Metallschicht.

zwei Dielektrika mit den Brechungsindizes n_1, n_2 eingebettet ist, gilt:

$$r = - (n_1 - n_2 + y) / (n_1 + n_2 + y) \text{ und} \\ t = 2n_1 / (n_1 + n_2 + y).$$

Dabei ist $y = 377 \Omega / R_{\square}$ der Quotient aus der Impedanz des Vakuums und dem Flächenwiderstand $R_{\square} = 1/(\sigma d)$ des Metallfilms. Ein freitragender Metallfilm absorbiert materialunabhängig maximal 50 % der einfallenden Intensität bei einem Flächenwiderstand von 188 Ω . Für Frequenzen des Lichts, die kleiner sind als die reziproke Stoßzeit der Leitungselektronen, ist die Absorption darüber hinaus auch unabhängig von der Wellenlänge der einfallenden Strahlung. Dies trifft für den gesamten Infrarotbereich zu, weil die Stoßzeit durch Oberflächen- und Korn-

grenzstreuung verkleinert ist. Sind die Brechungsindizes reell mit $n_2 > n_1$, dann verschwindet die Reflexion für $y = n_2 - n_1$. Dies erlaubt es beispielsweise, Vielstrahlinterferenzen in dielektrischen Platten über einen weiten Wellenlängenbereich zu unterdrücken.

Im folgenden sollen zwei Anwendungsbeispiele für Absorberstrukturen mit dünnen Metallfilmen in thermoelektrischen und pyroelektrischen Sensoren näher vorgestellt werden. Die Absorberstruktur für den thermoelektrischen Sensor aus Abb. 1a besteht aus einem dünnen Substratfilm mit Brechungsindex n , auf dessen Rückseite ein dünner Metallfilm mit $y = n - 1$ aufgedampft ist. Dadurch treten keine störenden Interferenzen auf. Als Substrat dient ein Dielektrikum mit möglichst hoher Wärmeleitfähigkeit, damit die Wärme effektiv zum punktförmigen Thermoelement transportiert wird. Experimentell realisiert wurden Absorber aus 200 nm dicken Siliziumfolien ($n \approx 3,5$), auf der Rückseite bedampft mit einem Silberfilm ($R_{\square} = 150 \Omega$). Die Absorption ist über den gesamten Infrarotbereich nahezu 50 %. Noch günstiger als Substrat wären Diamantfolien mit einer Dicke kleiner als 500 nm.

Ein pyroelektrischer Infrarotsensor nach Abb. 1b besteht aus einem pyroelektrischen Material mit zwei Elektroden zum Abgriff des elektrischen Signals. Typischerweise werden ferroelektrische Kristalle wie LiNbO_3 oder ferroelektrische Polymere wie Polyvinylidenfluorid (PVDF) für pyroelektrische Sensoren verwendet. Prinzipiell können die Elektroden gleichzeitig als Absorber für die Infrarotstrahlung dienen. Da jedoch das Absorptionsverhalten dünner Metallfilme entscheidend vom Substrat abhängt, ist zu

Dr. S. Bauer, Dipl.-Phys. R. Fettig und Dr. B. Ploss, Institut für angewandte Physik der Universität, Kaiserstr. 12, W-7500 Karlsruhe.