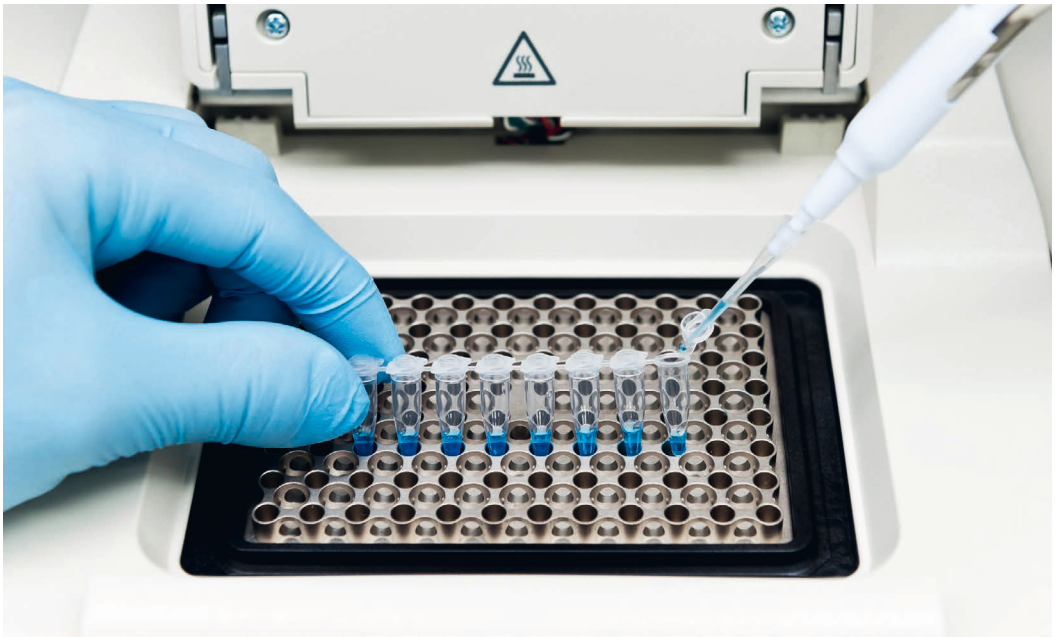
Genauigkeit bei der berührungslosen Temperaturmessung gewährleisten



Die PCR-Analyse erfordert absolut genaues Temperaturmonitoring in Echtzeit während des gesamten Prozesses.

Temperatursensoren finden sich in immer mehr Elektronikprodukten – von Consumer-Geräten, tragbaren Produkten und Wearables bis hin zu medizintechnischen Geräten und Ausrüstung in der Industrie. Besonders beliebt ist der Einsatz der Ferninfrarot-Technik (FIR), die eine berührungslose Temperaturmessung ermöglicht. Diese ist gerade im industriellen Bereich von Vorteil, da keine Gefahr besteht, dass die Sensorelemente durch das Berühren sehr heißer Oberflächen beschädigt werden. Auch im medizinischen Bereich hat dies Vorteile – da keine Gefahr einer Kreuzkontamination besteht.

Die Corona-Krise hat die Notwendigkeit einer FIR-basierten, berührungslosen Temperaturmessung noch verstärkt. Sie ist zu einem Teil des täglichen Lebens geworden: mit Handheld-Geräten werden regelmäßig Temperaturmessungen bei Patienten auf Krankenstationen sowie bei Schülern beim Betreten der Schule und bei Mitarbeitern auf dem Weg in ihre Büros durchgeführt. Auch in Laborumgebungen ist diese Technik für Tests von entscheidender Bedeutung. Unabhängig vom Anwendungsfall steht dabei natürlich eine präzise Temperaturmessung im Vordergrund.

Da die Formfaktoren, die diese Temperaturmessfunktionen aufnehmen müssen, deutlich kleiner geworden sind, nimmt der Einfluss anderer Faktoren auf die Leistungsfähigkeit immer mehr zu. So ist die Auswirkung schneller Temperaturwechsel jetzt deutlicher zu erkennen – und dies kann die Genauigkeit beeinträchtigen, wenn nicht geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um dies zu verhindern.

Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung

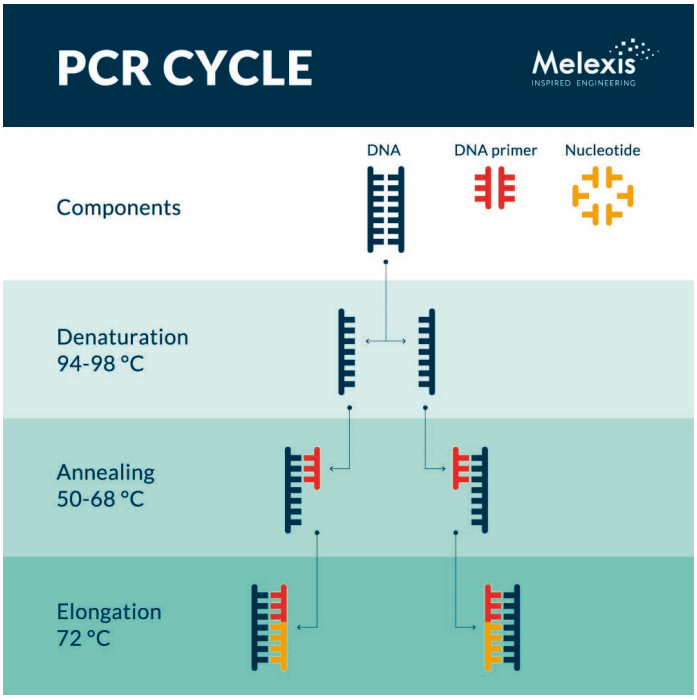
Die berührungslose Temperaturmessung erfolgt über das Stefan-Boltzmann-Gesetz. Damit lässt sich die Wärme eines Objekts anhand der von ihm abgegebenen Strahlung berechnen. Das Gesetz besagt, dass die pro Flächeneinheit eines Schwarzkörpers abgestrahlte Energie (Strahlungsemission) proportional zur vierten Potenz seiner Oberflächentemperatur ist:

$$J = \eta \sigma T^4$$

Mit:

J = Strahlungsintensität [W/m²]

η = Emissionsgrad – eine Oberflächeneigenschaft der zu messenden Probe (bei nichtmetallischen Materialien wird dieser



Schematische Darstellung der drei Phasen bei der DNA-Vervielfältigung und PCR-Analyse

Autor:
Joris Roels – Marketing Manager Temperature Sensors
Melexis
www.melexis.com

Wert mit ungefähr 1 angenommen)

σ = Stefan-Boltzmann-Konstante mit 5,67 x10^{-8} [W/m^2/K^4]

T = absolute Oberflächentemperatur [K]

Thermosäule

Eine der effektivsten Hilfsmittel zur berührungslosen Temperaturmessung ist eine Thermosäule. Vereinfacht besteht diese aus einer Reihe von Thermoelementen, die in Serie geschaltet sind. In Kombination erzeugen diese eine Spannung, die proportional zur Temperaturdifferenz zwischen zwei Punkten ist. Damit lässt sich die relative Temperatur bestimmen.

Die Thermosäulen-Sensoren von Melexis basieren auf einer mikroelektromechanischen Struktur (MEMS), die eine erhebliche Miniaturisierung ermöglicht. Sie bestehen aus einer Reihe von „heißen" Kontaktstellen auf einer dünnen, thermisch isolierten Membran. Aufgrund der geringen thermischen Masse ihrer Membranen benötigen sie nur sehr wenig Zeit, um auf die einfallende FIR-Strahlung zu reagieren. Eine Temperaturdifferenz wird gemessen und ein entsprechender Ausgang erzeugt. Über einen Referenzthermistor zur Überwachung der Umgebungstemperatur lässt sich so ein absoluter Temperaturwert ableiten.

Beispiel einer berührungslosen Temperaturmessung: PCR-Analyse

Die berührungslose Temperaturmessung hilft im Kampf gegen Corona, da sie eine effektive Temperaturkontrolle in den Laboren ermöglicht, die Analysen von Polymerase-Kettenreaktionstests (PCR) durchführen. PCR ist ein Verfahren zum Nachweis von Viren in biologischen Proben. Dabei wird eine bestimmte DNA mehrfach repliziert und vervielfältigt, um es dem Laborpersonal zu erleichtern, das Vorhandensein von DNA, die von den Viren stammt, nachzuweisen.

Der PCR-Prozess

besteht aus drei grundlegenden Phasen. Die erste davon ist die Denaturierung, bei der die Wasserstoffbrücken der DNA-Probe durch hohe Temperaturen (ca. 96 °C für einen Zeitraum von etwa 30 s) aufgebrochen werden. Dies führt dazu, dass sich die charakteristische Doppelhelix-Struktur in zwei separate DNA-Stränge aufspaltet. Diese Matrizenstränge dienen als Grundlage für die weitere Vervielfältigung. Als nächstes wird die Temperatur gesenkt und die DNA-Matrizenstränge werden miteinander verbunden, wobei DNA-Primermoleküle an die komplementären Bereiche der beiden DNA-Matrizen gebunden werden. Hier ist eine genaue Temperaturkontrolle unerlässlich, um sicherzustellen, dass die Primer richtig haften. Danach kann mit der Elongation fortgefahren werden. Hier fügen Polymeraseenzyme Nukleotide zu den Matrizen/Primern hinzu, um neue doppelsträngige Moleküle zu erzeugen, sodass zwei identische Repliken des Originals entstehen. Der Vorgang wird dann wiederholt, wobei sich die Anzahl der Moleküle bei jedem Zyklus verdoppelt. In kurzer Zeit lassen sich so über eine Milliarde DNA-Moleküle erzeugen.

Ein Thermocycler

sorgt für die spezielle Temperatur, die für jede Stufe des PCR-Prozesses benötigt wird. Dabei werden die Probengefäße (die sich in einem Thermoblock befinden) einem genau definierten Wärmeprofil ausgesetzt, bei dem die Temperatur in jeder Phase exakt erreicht wird und für die die optimale Zeitdauer bestehen bleibt. Präzise Regelkreise sind erforderlich, um die Temperatur während des gesamten Prozesses stabil zu halten und dauerhaft genaue Wiederholbarkeit bei jedem neuen Zyklus zu gewährleisten. Dies erfordert eine präzise Temperaturüberwachung in Echtzeit.

Schnelles Messen ist gefragt

Werden die Proben häufig ausgetauscht – weil die PCR-Prozesse aufgrund des logistischen Drucks schnell ablaufen müssen – ist die Temperaturmessung der Probenröhrchen über ein herkömmliches Direkt-

kontakt-Thermometer unpraktisch. Allein in Großbritannien werden derzeit täglich rund 700.000 Corona-PCR-Tests durchgeführt, fast doppelt so viele wie auf dem Höhepunkt der Pandemie. Aufgrund des hohen Durchsatzes müssen innerhalb kürzester Zeit neue Probenchargen eingerichtet werden. Direkte Kontaktmessungen sind darauf nicht gut abgestimmt. Außerdem müssen die Temperatursensoren genau kalibriert werden – was Zeit kostet und entsprechend geschultes Personal erfordert. Und zudem besteht bei jedem Kontakt mit den Probenröhrchen die Gefahr, dass später andere Proben kontaminiert werden.

Berührungslose Temperaturmessung

FIR-Sensoren bieten einen erheblichen Vorteil, da sie eine berührungslose Temperaturmessung ermöglichen. Die Gefahr einer Kreuzkontamination zwischen den Proben wird deutlich geringer, da die Probenröhrchen nicht berührt werden müssen. Werden die richtigen Geräte angeschafft, sind diese kompakt genug, um in engen Systemen zum Einsatz zu kommen.

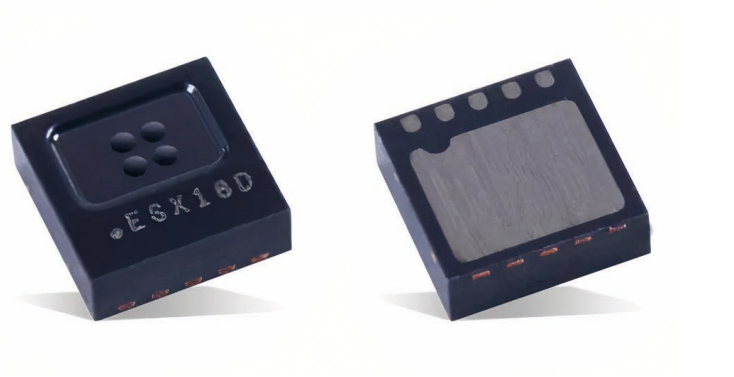
Stabilität sichern

Der Übergang auf FIR-Temperatursensoren in kleineren Gehäusen, die sich besser für die Integration in tragbare Geräte, Handhelds und Wearables eignen, ist eine große technische Herausforderung. Das Gehäuse muss dabei den thermischen Belastungen gewachsen sein. Während Metallgehäuse, wie sie für größere Systeme verwendet werden, eine höhere thermische Masse haben (was zu einem stabileren Betrieb beiträgt und Wärmegradienten innerhalb des Gehäuses abschwächt), werden kleinere Geräte leichter durch externe thermische Störungen beeinflusst. Diese können von anderen Komponenten stammen, die sich in der Nähe des Sensors auf der Platine befinden (z. B. Digital- oder diskrete Leistungselektronik-ICs). Es müssen daher Wege gefunden werden, um dieses Problem zu lösen.

Durch das Modellieren und Charakterisieren verschiedener Szenarien, gefolgt von der Anwendung komplexer Algorithmen, besteht die Möglichkeit, die Ausgänge kleinerer Sensoren entsprechend zu kompensieren. Folglich wird deren Fähigkeit, genaue Temperaturmessungen zu unterstützen, in keiner Weise durch die Auswirkungen thermischer Störungen beeinträchtigt.

Kompakt und leistungsfähig

Sensoren wie der MLX90632 von Melexis bieten eine solche aktive Kompensation, die es ermöglicht, bei minimalem Platzbedarf eine hohe Leistungsfähigkeit zu erzielen. Dieser kompakte, präzise und berührungslose Temperatursensor ist in einem SMD-QFN-Gehäuse untergebracht (3 x 3 x 1 mm), erübrigt sperrige FIR-Sensoren in Metallgehäusen und ermöglicht somit schlankere Systemdesigns.



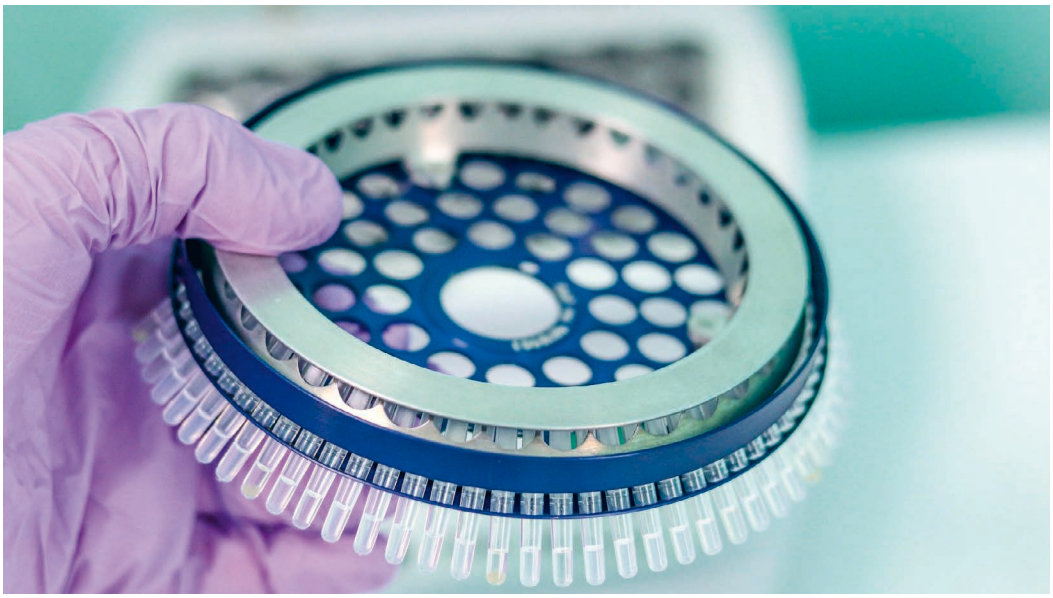
Der kompakte MEMS-basierte FIR-Temperatursensor MLX90632 von Melexis

Hohe Genauigkeit

Die vorkalibrierten Sensoren erreichen selbst in den thermisch anspruchsvollsten Umgebungen eine führende Genauigkeit/Auflösung von 0,02 °C. Sie decken einen Objekttemperaturbereich von -20 bis 100 °C (medizinische Version) und -20 bis 200 °C für die industrielle Standardversion ab. Die Messgenauigkeit der Standardversion von ±1 °C kann durch die Wahl der medizinischen Version verbessert werden, die einen Spielraum von ±0,2 °C für die menschliche Körpertemperatur bietet. Die Aktualisierungsrate des MLX90632 ist konfigurierbar und lässt sich je nach Anwendung zwischen 16 ms und 2 s einstellen. Das integrierte EEPROM speichert alle relevanten Kalibrierdaten. Eine I²C-Schnittstelle erleichtert die Systemintegration. Die kompakte Baugröße lässt viel Spielraum für die Entwicklung tragbarer PCR-Systeme, so dass die Analyse näher am Behandlungsort durchgeführt werden kann (anstatt Proben in ein zentrales Labor zu senden, was mehr Zeit in Anspruch nimmt).

Fazit

Die FIR-basierte Temperaturmessung eröffnet zahlreiche Möglichkeiten. Zu den verschiedenen Einsatzgebieten dieser Technik zählen die Überwachung industrieller Prozesse, von Viehbeständen, das Fitness-Tracking und Smartphone-Apps. Die globale Pandemie, die uns seit 1,5 Jahren begleitet, hat den Wert dieser Technik für das Gesundheitswesen deutlich hervorgehoben – sowohl im klinischen als auch im Laborumfeld. Der schnelle Zugriff auf genaue Temperaturdaten ist für biochemische Verarbeitungs- und Diagnosezwecke von entscheidender Bedeutung. Daher müssen die in Analysegeräten integrierten Sensoren diese Vorgehensweise umfassend unterstützen. Fortschritte im Sensordesign und bei den zugehörigen Algorithmen sorgen heute für Sensoren, die die erforderlichen kompakten Abmessungen bieten, um sich einfach integrieren zu lassen, ohne anfällig für thermische Störquellen zu sein, die sonst die Qualität der erfassten Daten beeinträchtigen würden. ◄



Die Covid-19-Pandemie hat die Bedeutung der berührungslosen auf FIR-basierten Temperaturmessung zur Optimierung der Testgenauigkeit unter Beweis gestellt.