

Resumen

La permitividad es una propiedad física de los materiales que describe su comportamiento en presencia de un campo electromagnético. Aunque la permitividad de los materiales dieléctricos se ha estudiado durante muchos años, existe una creciente demanda de nuevos métodos y dispositivos de caracterización en una cantidad considerable de sectores científicos e industriales.

Los sensores de microondas pueden desempeñar un papel esencial en las tareas de detección, supervisión o control de procesos, ya que algunos parámetros fisicoquímicos de los materiales producen cambios medibles en las propiedades dieléctricas. Además, la tecnología de calentamiento por microondas está adquiriendo una relevancia creciente para la transición ecológica y la descarbonización de los procesos industriales, y la permitividad es el parámetro esencial para el desarrollo exitoso de estos nuevos procesos. La permitividad depende de muchos factores, como la frecuencia, la temperatura, el contenido iónico, la densidad o la presentación del material. No existe un método universal para determinar las propiedades dieléctricas en cualquier condición; los métodos de medición de la permitividad deben adaptarse a las necesidades del material y del entorno de medición. Normalmente, la tecnología de microondas y las técnicas de caracterización dieléctrica son procesos altamente especializados que requieren dispositivos complejos y costosos que históricamente han limitado la expansión de estos métodos fuera del ámbito de las telecomunicaciones.

El número de aplicaciones que requieren la monitorización o medida de las propiedades dieléctricas, las altas dependencias de esta magnitud bajo diferentes condiciones, y la necesidad de poner esta tecnología al alcance de un usuario más amplio y menos especializado, justifican el desarrollo de este trabajo.

Esta tesis pretende desarrollar nuevos dispositivos para la monitorización y caracterización de dieléctricos adaptados a diferentes entornos, cubriendo un amplio rango de formatos, formas y propiedades de los materiales. Para lograr este propósito, este trabajo aspira a idear tanto sistemas autónomos y fáciles de usar para ser empleados en un amplio rango de situaciones, como celdas específicas que aborden requerimientos más particulares. La tesis se presenta como una tesis por compendio de artículos, incluyendo cuatro contribuciones originales que describen los aspectos más relevantes desarrollados durante mis estudios de doctorado. Un esfuerzo considerable durante el período de la tesis se dedicó a apoyar el desarrollo del proyecto de investigación SEDMICRON, cuyo objetivo es emplear la tecnología de microondas como un nuevo enfoque para la autenticación de marcadores en aplicaciones de seguridad documental a través de un microscopio de microondas en campo cercano (NSMM).

Las dos primeras publicaciones incluidas en la tesis describen dos enfoques diferentes para abordar las mediciones de permitividad. El primer artículo describe un instrumento versátil, autónomo y fácil de usar para medir la permitividad de materiales líquidos, semisólidos, en polvo, granulares y sólidos dentro de tubos de pirex. El dispositivo se basa en una cavidad resonante bi-reentrante. El diseño de la cavidad logró una excelente sensibilidad, y el estudio de la red de acoplamiento permitió la caracterización de materiales de pérdidas bajas, moderadas y altas con una misma configuración. Este dispositivo incluye un reflectómetro vectorial portátil propio, lo que lo hace portátil y asequible. Las características del instrumento desarrollado permiten un uso sencillo por parte de personal no especializado y proporcionan versatilidad en muchas situaciones. La segunda publicación presenta el diseño de una celda específica para cubrir una necesidad de medición concreta. En particular, este artículo describe un dispositivo de prueba basado en una sonda coaxial de extremo abierto con una mayor sensibilidad para determinar la permitividad de productos alimenticios de altas pérdidas en función de la temperatura a frecuencias de RF. Este artículo destaca la importancia de seleccionar la técnica de medición más adecuada, adaptada al entorno y a las particularidades del material, para la determinación apropiada de la permitividad.

Los dos artículos siguientes describen el desarrollo y la utilización de un microscopio de microondas de campo cercano con resolución micrométrica para determinar mapas de permitividad de materiales planos heterogéneos a frecuencias de microondas. En ambos trabajos se describen los diferentes elementos que componen el instrumento del microscopio: la sonda coaxial afilada para realizar las mediciones de campo cercano, incluida en una estructura resonante; un reflectómetro vectorial propio para conseguir una funcionalidad autónoma y fácil de usar; el subsistema de posicionamiento para realizar el escaneo píxel a píxel; y las técnicas de análisis para determinar los valores de permitividad a partir de las medidas de los parámetros de la resonancia. En el primer trabajo se empleó por primera vez la tecnología de microondas en aplicaciones contra la falsificación, obteniendo la marca dieléctrica de la marca de agua de un billete. Además, este estudio demostró la capacidad de la energía de microondas para detectar marcas ocultas detrás de capas dieléctricas o metálicas, lo que abre nuevas posibilidades para el desarrollo de elementos de seguridad ópticamente opacos e imposibles de rastrear por medios ópticos. El segundo estudio demuestra la versatilidad de este sistema para determinar las propiedades dieléctricas de materiales planos heterogéneos midiendo la respuesta dieléctrica de especímenes de roca.

Los métodos desarrollados en esta tesis aumentan la cartera de sistemas de caracterización dieléctrica y pueden ayudar a una amplia gama de sectores científicos e industriales en las tareas de monitorización y caracterización dieléctrica, haciendo estos trabajos más cómodos y accesibles.