

Comportamiento de una espuma de aluminio como atenuador de la radiación electromagnética

Behavior of an aluminum foam as an attenuator of electromagnetic radiation

Francisco Rodríguez-Méndez¹, Marcela Meneses-Guzmán²,
Bruno Chinè-Polito³

Rodríguez-Méndez, F; Meneses-Guzmán, M; Chinè-Polito, B.
Comportamiento de una espuma de aluminio como atenuador de la radiación electromagnética. *Tecnología en Marcha*.
Vol. 32 Especial. Marzo 2019. Pág 7-17.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i5.4166>



- 1 Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: fjrome9@gmail.com
- 2 Escuela de Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: mameneses@itcr.ac.cr
- 3 Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: bchine@tec.ac.cr



Palabras claves

Interferencia electromagnética; espumas metálicas; simulación computacional; ANSYS Electromagnetics.

Resumen

La interferencia electromagnética afecta el funcionamiento adecuado de los dispositivos electrónicos. Nuevos materiales celulares están mostrando su potencial de blindaje de la interferencia por radiación electromagnética gracias a sus características mecánicas y de absorción de energía que, combinadas con un coeficiente de reflexión de ondas electromagnéticas alto y una buena conductividad eléctrica, las convierte en un material útil para esta aplicación.

El objetivo de este trabajo es el de analizar el comportamiento de una espuma metálica de celda abierta como atenuador de la radiación electromagnética mediante la simulación computacional en ANSYS Electromagnetics. El sistema físico es modelado en un medio compuesto por aire, siendo el material seleccionado aluminio; posteriormente el sistema es sometido a campos electromagnéticos dinámicos producidos por una antena lineal. Los resultados obtenidos muestran que a partir de un campo magnético y eléctrico incidente de 1A/m y 5V/cm, respectivamente, el comportamiento en magnitud de estos campos se reduce conforme estos se internan en la matriz del material, hasta valores de 0.0691A/m para el campo magnético y 0.6573V/cm para el campo eléctrico.

Keywords

Electromagnetic interference; metal foams; computational simulation; ANSYS Electromagnetics.

Abstract

Electromagnetic interference affects the proper functioning of electronic devices. New cellular materials are showing their shielding potential from electromagnetic radiation interference due to their mechanical and energy absorption characteristics which, combined with a high electromagnetic wave reflection coefficient and good electrical conductivity, make them a useful material for this kind of application.

The objective of this work is to analyze the behavior of an open cell metal foam as an attenuator of electromagnetic radiation by using computer simulation in ANSYS Electromagnetics. The physical system is modeled in a medium composed of air, with the selected material being aluminum; subsequently the system is subjected to dynamic electromagnetic fields produced by a linear antenna. The results obtained show that, from an incident magnetic and electric field of 1A/m and 5V/cm respectively, the behavior in magnitude of these fields is reduced as they enter the material matrix, down to values of 0.0691A/m for the magnetic field and 0.6573V/cm for the electric field.

Introducción

La generación y propagación de la radiación electromagnética emitida por uso de computadoras, tecnología de comunicación inalámbrica y sistemas digitales en el trabajo, así como, la constante renovación y mejora de dispositivos electrónicos, se ha convertido en una preocupación y un problema por resolver [1] [2]. Los dispositivos no solo irradian energía, sino que también son afectados por las ondas electromagnéticas incidentes en el aire. El diseño e implementación de blindajes apropiados contra la interferencia electromagnética se convierte en un requerimiento para asegurar la continua funcionalidad e integridad de los diferentes sistemas que componen este tipo de aparatos y, más importante aún, para reducir el nivel de radiación que el cuerpo humano recibe.

El objetivo de esta investigación es el de analizar el comportamiento de una espuma de aluminio como material atenuador de la radiación electromagnética, haciendo uso de la herramienta de simulación computacional ANSYS Electromagnetics. En particular, las espumas metálicas de aluminio son conocidas por tener una combinación única de propiedades físicas y mecánicas, tales como, alta resistencia y rigidez, amortiguación y absorción de sonido y energía [2] que, combinadas con una eficiente reflexión de las ondas electromagnéticas y una buena conductividad eléctrica, permite que este material sea usado como blindaje.

La literatura muestra el potencial de atenuación de la interferencia por radiación electromagnética de estos materiales [3] [4] [5] [6] [7], desarrollando diferentes modelos computacionales para aproximar el comportamiento electromagnético de las espumas metálicas disponibles comercialmente, siendo las espumas de celda abierta y caracterizadas por matrices celulares sumamente irregulares y aleatorias. Los modelos analíticos propuestos por estos autores hacen uso de geometrías planas definidas para aproximar la forma de las celdas de las espumas comerciales. En este caso las simulaciones desarrolladas se limitan a un análisis 2D del comportamiento magnético de una única celda o poro del material, extrapolando los resultados obtenidos para definir y caracterizar el comportamiento del resto de la estructura.

El índice de porosidad y densidad relativa que caracteriza las espumas de celda abierta está ligado directamente a su efectividad de atenuar la radiación electromagnética; en particular se evaluaron en estos trabajos porosidades entre 85-95%, mostrando que entre más poroso o, en su defecto, menos denso es el material, menor es su efectividad para atenuar este tipo de energía [5] [7].

El modelo físico diseñado para la espuma metálica en el presente trabajo tiene una distribución de celdas uniforme con una geometría circular, siguiendo el principio de celda abierta donde cada esfera se traslapa con sus vecinas; el resultado es un material con un índice de porosidad alto y una densidad relativa baja. El sistema modelado se complementa al incluir un medio de transmisión real (aire) y definir un material conductor no ideal (aluminio) en el modelo. Para la simulación se usa el módulo de ANSYS HFSSTM, (*“High-Frequency Structure Simulator”*, por sus siglas en inglés), que permite realizar análisis de estructuras 3D en alta frecuencia sometidas a campos electromagnéticos dinámicos producidos por diferentes fuentes, que en este caso particular es una antena lineal a 5GHz.

El trabajo sigue un esquema típico de un proceso de modelación y simulación computacional. Inicialmente se describe el modelo físico desarrollado, las ecuaciones diferenciales de conservación de los campos electromagnéticos, las condiciones de frontera y excitaciones del sistema y el mallado utilizado por el método numérico de elementos finitos. Seguidamente se exponen y analizan los resultados obtenidos con las simulaciones numéricas y las principales conclusiones extraídas.

Metodología

Modelo

El modelo CAD del material ha sido desarrollado en SOLIDWORKS® y consiste en una espuma metálica de aluminio de celda abierta con dimensiones de 17x12x2cm³ (largo, alto y grosor, respectivamente). La forma geométrica de sus burbujas es esférica con un radio de 5mm y un espaciado entre centros de 4mm. Dicha configuración crea una matriz de 6300 celdas, distribuidas en 42x30x5 esferas, respectivamente. La figura 1 muestra la estructura diseñada.

Debido a que la geometría y distribución de las celdas es uniforme, y con el fin de reducir el esfuerzo computacional que la complejidad de esta estructura produce, el modelo general puede ser reducido a un arreglo de solamente 5 celdas con dimensiones de 5x5x20mm³, proceso que se puede interpretar como la extracción de una única línea volumétrica de la matriz del material, respetando su espesor. La figura 1 muestra el sentido del proceso de extracción dentro de la estructura, mientras que en la figura 2 se observa el modelo simplificado resultante.

El medio de transmisión ha sido creado directamente en ANSYS HFSSTM como un sólido que encierra el modelo simplificado de la espuma de aluminio importado en el ambiente de simulación. La figura 3 muestra el sistema final implementado en ANSYS, donde el cubo delimitado con las líneas rojas es el medio de transmisión, dentro del cual se encuentra el modelo físico de la espuma metálica.

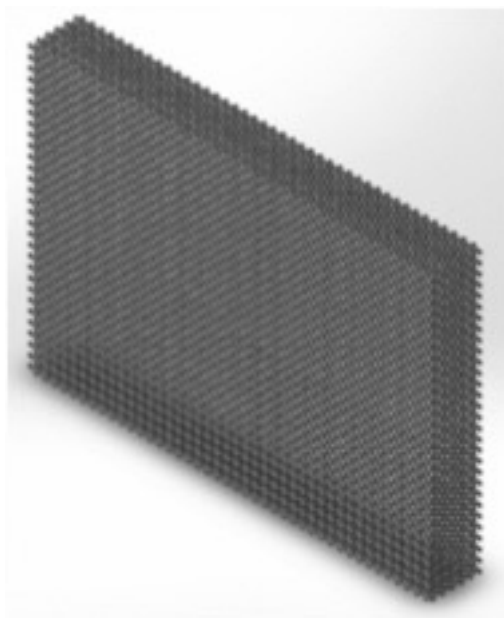


Figura 1. Modelo CAD para una espuma de aluminio de celda abierta.

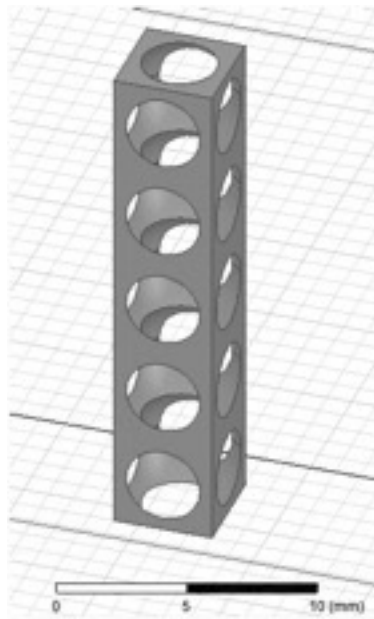


Figura 2. Modelo simplificado de la espuma metálica.

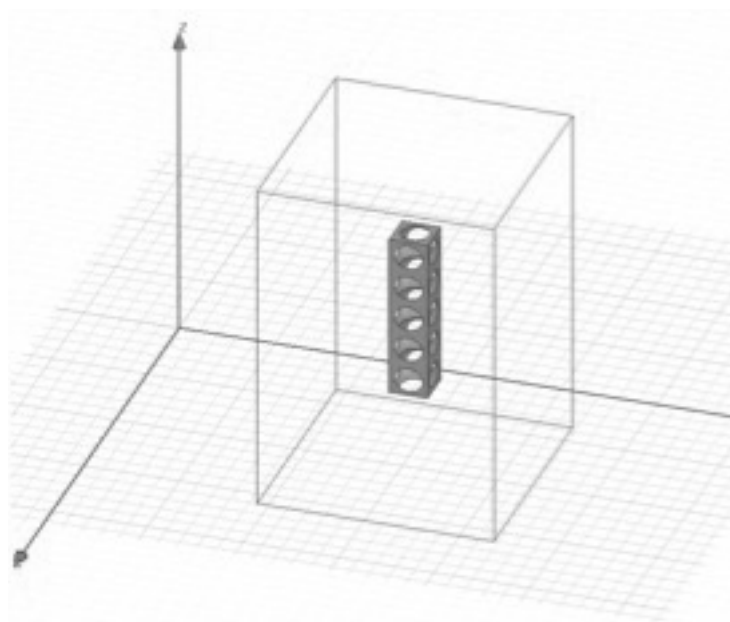


Figura 3. Ambiente de simulación final.

Ecuaciones gobernantes/leyes constitutivas

El método numérico de resolución utilizado en el módulo HFSS™ es el método de elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés). En particular los elementos del modelo tienen una geometría de tetraedro donde se deben implementar las ecuaciones de conservación del electromagnetismo de Maxwell. En particular, el campo eléctrico E se resuelve utilizando la relación descrita en la Eq.1 [8].

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times E \right) - k_0^2 \epsilon_r E = \bar{J} \quad (1)$$

donde

$$k_0^2 = \frac{w^2}{c^2}$$

ϵ_r , μ_r , w son la permitividad relativa, permeabilidad y frecuencia angular, respectivamente, c es la velocidad de la luz en el vacío y J es la densidad de corriente.

Para calcular el campo magnético H , ANSYS se basa en la Eq.2 [8].

$$H = \frac{1}{w\mu} \nabla \times E \quad (2)$$

Con estas dos ecuaciones, el proceso de resolución numérica del problema dado se puede resumir en los siguientes pasos:

1. La estructura geométrica es representada como un arreglo/malla de elementos finitos con una geometría de tetraedros.
2. Para cada tetraedro se define una función de análisis W_n , lo que resulta en un conjunto de funciones base.
3. La ecuación de campo es multiplicada por W_n e integrado a lo largo del volumen de solución.

Este procedimiento produce un conjunto de ecuaciones para $n = 1, 2, \dots, N$. de la forma descrita en la Eq.3

$$\int \left(W_n \times \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times E \right) - k_0^2 \epsilon_r W_n E \right) dV = 0 \quad (3)$$

Después de manipular estas N ecuaciones integro-diferenciales utilizando el teorema de Green, el teorema de divergencia y tomando en cuenta la Eq.4

$$E = \sum_{m=1}^M W_m, n = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

se obtiene la relación

$$\sum_{x_m} \int \left[(\nabla \times W_n) \times \left(\frac{1}{\mu_r} \nabla \times W_n \right) - k_0^2 W_n \times W_n \right] dV = \int_s \text{boundary terms } dS \quad (5)$$

Donde finalmente, E se puede calcular al resolver la Eq.5 para cada x_m .

Condiciones del sistema

Condiciones de frontera

Primero, el material que constituye la espuma metálica debe ser tratado como un material no ideal, es decir, con propiedades eléctricas reales. Esta consideración toma en cuenta el “efecto piel” que sufren los materiales conductores cuando trabajan o son expuestos a campos electromagnéticos dinámicos en alta frecuencia.

En ANSYS tal condición de borde se cumple al definir cada cara y superficie del sólido, tanto externas como internas, como fronteras con “Conductividad Finita”, dando a la estructura las propiedades eléctricas constitutivas del aluminio. Estas características son necesarias para resolver las ecuaciones constitutivas discutidas en el apartado anterior, siendo su valor específico el detallado en el cuadro 1 [9].

Cuadro 1. Propiedades eléctricas de los materiales constituyentes.

Material	Permeabilidad magnética (H/m)	Permitividad relativa a 5GHz
Aire	$1.25663753 \times 10^{-6}$	1
Aluminio	$1.25666500 \times 10^{-6}$	$0.44101 + 0.012226i$

Segundo, y debido a que ANSYS configura por defecto todos sus sólidos como modelos cerrados definidos por superficies, de las cuales no puede escapar energía, el medio de transmisión creado debe configurarse como una estructura que permita la propagación en el espacio de las ondas electromagnéticas. Esta característica se logra al asignar una condición de “Límite de Radiación” a cada cara del sólido, lo que crea una estructura abierta que permite la libre propagación de energía.

2.3.2 Excitaciones

Cómo fuente emisora de radiación electromagnética se configuró una “Antena Lineal”, la cual se propaga libremente por el medio de transmisión, e incide en un ángulo normal en la cara superior de la espuma metálica. Dicha antena fue ubicada a aproximadamente 10cm lejos de la superficie superior del material. Las características de la antena se exponen en el cuadro 2:

Cuadro 2. Características de la fuente de radiación EM.

Característica	Valor
Largo de la antena	100mm
Radio de la antena	100mm
Dirección de propagación	-Z
Magnitud	10A
Frecuencia	5GHz

Mallado

El mallado del sólido se crea automáticamente durante el proceso de discretización numérica. ANSYS utiliza un proceso de refinamiento adaptativo de la malla del sistema, en el cual el mallado es redefinido iterativamente, enfocándose en las regiones en las que la solución del campo eléctrico produce una magnitud de error alta. Dicho refinamiento continua hasta que el proceso converge en una solución precisa. La convergencia es determinada al comparar la solución anterior con la actual hasta que la diferencia entre dos resultados consecutivos sea menor a la magnitud del error especificada. Este error es evaluado en cada iteración para cada uno de los tetraedros que conforman la malla, siendo calculado al resolver la Eq.6 [8].

Resultados y discusión

Para determinar el índice de porosidad y la densidad relativa de la espuma metálica diseñada se usa SOLIDWORKS®, el cual es capaz de evaluar el sólido creado determinando algunas de sus propiedades físicas, entre ellas el volumen ocupado por material y su masa. Con estos dos parámetros se puede calcular la porosidad del material y su densidad relativa, habiendo definido: el índice de porosidad como la fracción del volumen ocupado por los huecos sobre el volumen total; la densidad relativa como la relación entre la densidad de la espuma y la densidad del material sólido (en este caso aluminio); la densidad del material sólido como su masa entre el volumen total. El cuadro 3 muestra las propiedades físicas resultantes que caracterizan la espuma de aluminio implementada, donde se nota que el índice de porosidad es alto, pero no excede el límite inferior propuesto en estudios anteriores.

Cuadro 3. Propiedades físicas de la espuma de aluminio diseñada.

Propiedad física	Magnitud
Volumen de huecos (mm ³)	347.665,2224
Volumen total (mm ³)	408.000,0000
Índice de porosidad (%)	85,2120
Masa (g)	162,9309
Densidad (g/mm ³)	0,0003993
Densidad relativa	0,1479

El mallado obtenido para el modelo simplificado de la espuma metálica se muestra en la figura 4, para un error relativo asociado a la solución numérica del problema menor a 0,01; en las secciones de material que conectan una celda con la otra puede notarse un mallado más fino, donde el error es mayor debido a la geometría de la celda. Los resultados que muestran la distribución del campo magnético H y el campo eléctrico E dentro de la estructura del modelo físico se muestran en las figuras 5 y 6, respectivamente.

En estas figuras se observa que tanto el campo magnético H como el campo eléctrico E inciden en la cara superior del modelo con una intensidad de aproximadamente 1A/m y 5V/cm, respectivamente. Sucesivamente, conforme estos se introducen en la matriz porosa del material, la magnitud de dicha intensidad va disminuyendo paulatinamente, hasta convertirse en 0.0691A/m para el campo magnético y 0.6573V/cm para el campo eléctrico.

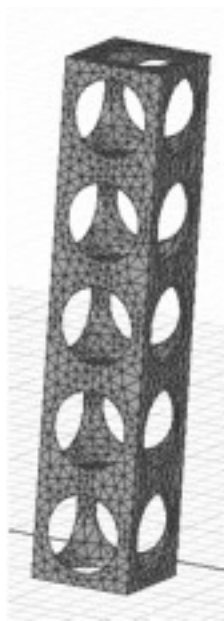


Figura 4. Mallado obtenido para el modelo simplificado de la espuma metálica.

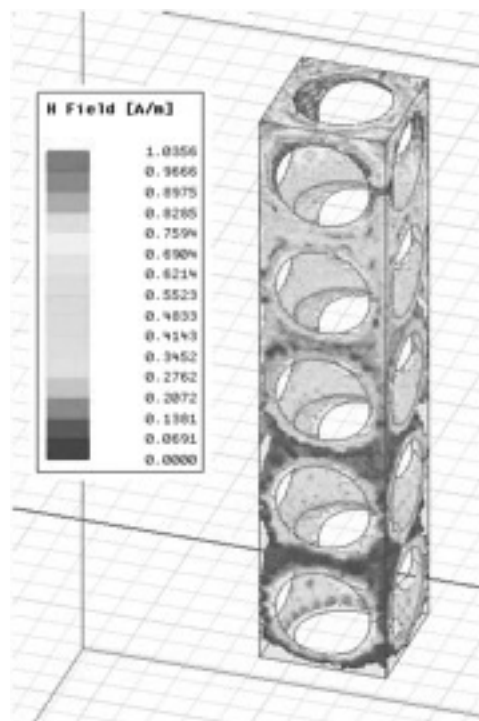


Figura 5. Distribución del campo magnético H .

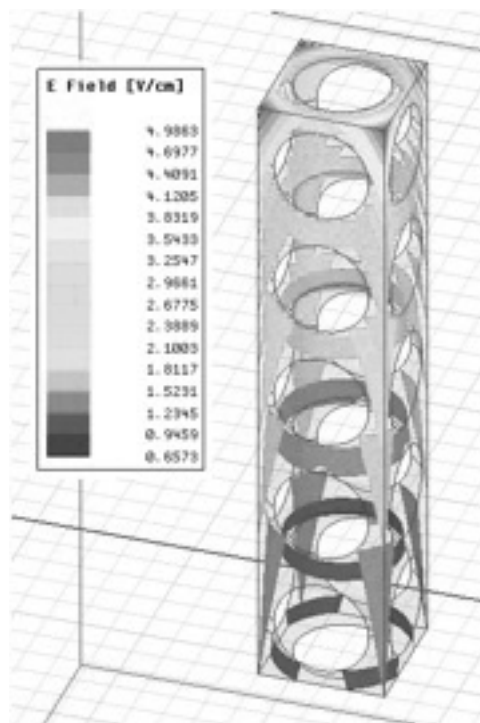


Figura 6. Distribución del campo eléctrico E .

El cambio de las magnitudes de los campos electromagnéticos obedece a la distribución de las celdas de la espuma metálica. En particular, la presencia de interfaces aire/metal sobre las cuales la onda incidente debe avanzar dentro de la estructura y la buena conductividad eléctrica que posee el aluminio, hacen que las ondas electromagnéticas vayan perdiendo su intensidad y se dispersen dentro del arreglo de celdas de la espuma.

Es importante destacar que el análisis efectuado solo se ha realizado en una única frecuencia de trabajo de 5GHz, sabiendo que entre más este parámetro crezca, menor es la capacidad de un material metálico para atenuar la intensidad de la onda incidente. Queda para estudios posteriores el análisis en un rango de frecuencias más amplio.

Conclusiones

Se ha modelado y simulado computacionalmente el comportamiento de una espuma metálica de aluminio de celda abierta al ser sometida a un campo electromagnético dinámico producido por una antena lineal. Los resultados muestran que este tipo de material, con una distribución uniforme de su matriz porosa, así como una geometría esférica regular, tiene una buena capacidad para atenuar la intensidad de ondas electromagnéticas que incidan sobre él, además de ofrecer una combinación de propiedades mecánicas y físicas únicas. Dichas características lo convierten en una potencial solución de blindaje contra la interferencia electromagnética, siendo capaz de ser adaptado a las diferentes necesidades de la industria. Se piensa continuar con trabajos posteriores, donde se simulen este tipo de estructuras sometidas a radiación electromagnética producida por arreglos reales de antenas y trabajando en un rango más amplio de frecuencias, con el fin de determinar la efectividad real y el alcance de estos materiales contra la propagación de la energía electromagnética.

Referencias

- [1] A. Ameli, M. Nofar, S. Wang, y C. B. Park, «Lightweight polypropylene/stainless-steel fiber composite foams with low percolation for efficient electromagnetic interference shielding», *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 6, n.o 14, pp. 11091–11100, 2014.
- [2] Z. Xu y H. Hao, «Electromagnetic interference shielding effectiveness of aluminum foams with different porosity», *J. Alloys Compd.*, vol. 617, pp. 207–213, 2014.
- [3] L. Catarinucci, G. Monti, y L. Tarricone, «Metal foams for electromagnetics: experimental, numerical and analytical characterization», *Prog Electromagn Res B*, vol. 45, pp. 1–18, 2012.
- [4] O. Losito, «An analytical characterization of metal foams for shielding applications», *PIERS Online*, vol. 4, n.o 8, pp. 805–810, 2008.
- [5] O. Losito, D. Barletta, y V. Dimiccoli, «A wide-frequency model of metal foam for shielding applications», *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 52, n.o 1, pp. 75–81, 2010.
- [6] G. Monti, L. Catarinucci, y L. Tarricone, «New materials for electromagnetic shielding: Metal foams with plasma properties», *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, n.o 8, pp. 1700–1705, 2010.
- [7] J. Iniguez, V. Raposo, A. García Flores, M. Zazo, y P. Hernández-Gómez, «Advantages of the Use of Metal Foams for Electromagnetic Shielding», en *Key Engineering Materials*, 2013, vol. 543, pp. 125–128.
- [8] ANSYS. *An Introduction to HFSS*. Canonsburg, PA 15317: ANSYS Inc. and ANSYS Europe. 2016.
- [9] M. Polyanskiy, «RefractiveIndex. INFO-Refractive index database», *Refract. INFOOnline Available Httprefractiveindex InfoAccessed 25 Jan 2016*, 2018.