

Измерване на диелектричната анизотропия на кристални образци чрез микровълнов резонансен метод

Валда Левчева, Пламен Данков

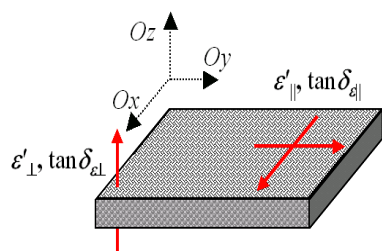
Физически факултет, Софийски университет “Св. Кл. Охридски”,
бул. Дж. Баучер 5, 1164 София

Резюме. Направен е кратък обзор на два резонансни метода за характеризиране на диелектричната анизотропия на кристални образци в микровълновия обхват. Измерени са диелектричните параметри на няколко известни и няколко нови кристални материала. Предложените методи включват използване на 3D електромагнитен симулатор като помощно средство. Получените резултати са представени в табличен вид.

1 Увод

Темата на работата е свързана с определяне на анизотропията на диелектричната проницаемост на кристални образци. Тя е характерна както за монокристалите, така и за поликристалите, при които се получава чрез подходяща обработка. За измерване на диелектричната анизотропия на вещества с кристална решетка няма универсален метод. Използването на пертурбационен метод [1-2] не е подходящо.

По тази причина предлагаме резонансни методи, използващи TE_{011} и TM_{010} измервателни резонатори, комбинирани с 3D електромаг-



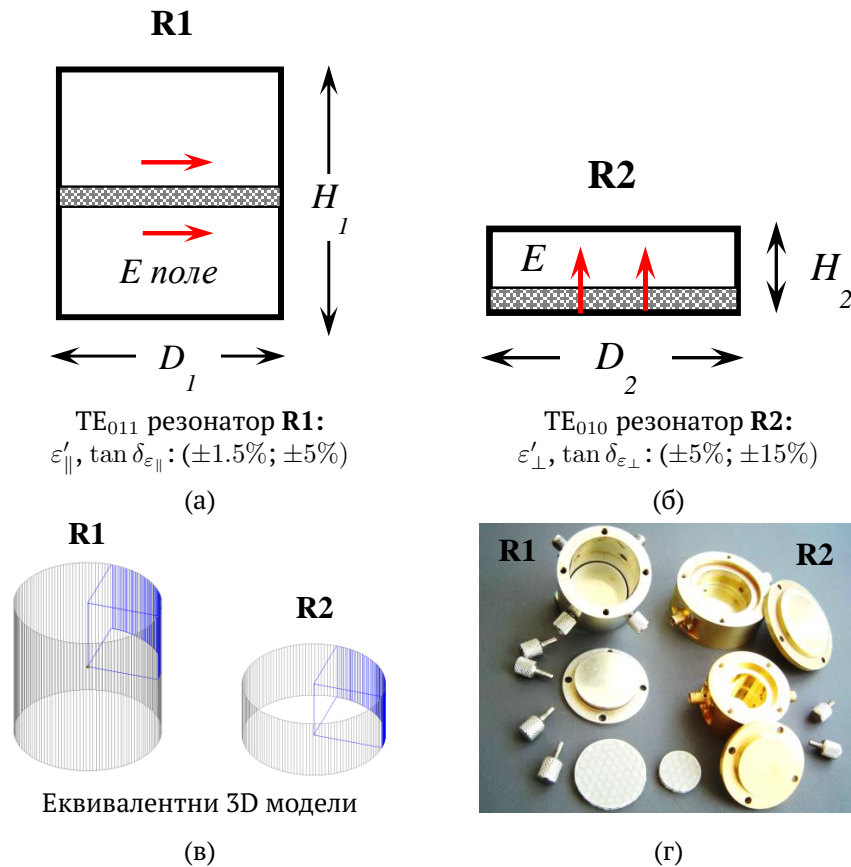
$$\Delta A_{\varepsilon} = 2 \frac{\varepsilon'_{\parallel} - \varepsilon'_{\perp}}{\varepsilon'_{\parallel} + \varepsilon'_{\perp}}$$
$$\Delta A_{\tan \delta_{\varepsilon}} = 2 \frac{\tan \delta_{\varepsilon\parallel} - \tan \delta_{\varepsilon\perp}}{\tan \delta_{\varepsilon\parallel} + \tan \delta_{\varepsilon\perp}}$$

Фиг. 1: Анизотропия [3].

нитен симулатор [4-10] за измерване на диелектричната анизотропия на кристални образци.

Методът на двата резонатора е въведен в работите [3,6,7]. Подробно е описан принципът на работа, създаването на 3D моделите, с които работят електромагнитните симулатори, точността на измерване [3]. Двата резонатора поддържат две моди, много подходящи за измерване на анизотропия – TE_{011} и TM_{010} . В [4] е развит двурезонаторен метод с използване на 3D електромагнитен симулатор като помощно средство за измерване на анизотропия. По този начин става възможно използването на измервателни резонатори с по-сложна форма [9].

На Фиг. 2 са представени двата най-прости по форма цилиндрични резонатора, проектирани така, че да поддържат необходимите



Фиг. 2: TE_{011} и TM_{010} резонатори: (а) R1; (б) R2; (в) еквивалентни 3D модели; и (г) реални измервателни резонатори R1 и R2 [10].

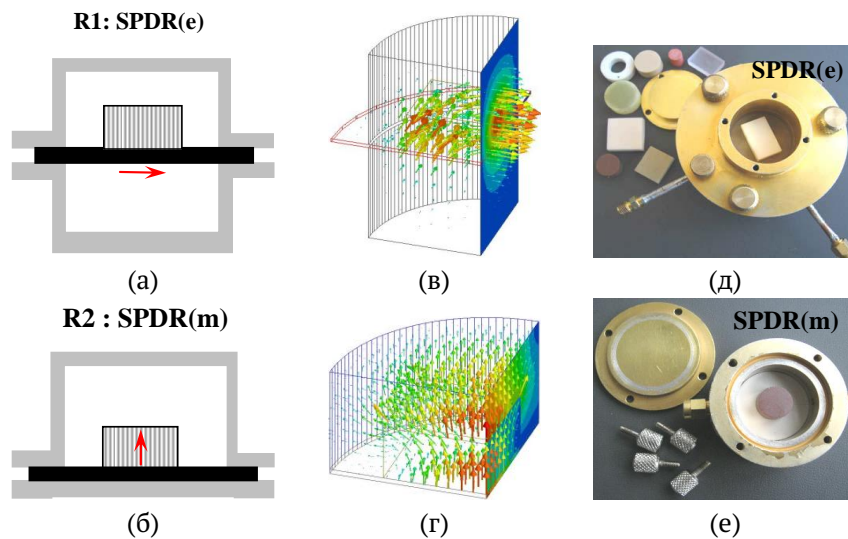
Измерване на диелектричната анизотропия на кристални образци ...

за измерване на анизотропията модове: резонатор R1 с мода TE_{011} и резонатор R2 с мода TM_{010} [3]. Показана е и точността на измерване. Същественото при създаването на 3D моделите на резонаторите е, че се въвеждат и използват еквивалентни параметри – еквивалентен диаметър на резонатора и еквивалентна проводимост на стените му. По този начин се отчитат неточностите от измерване на диаметъра, както и неточностите, породени от неидеалната вътрешна повърхност на стените на резонаторите.

Измервателната процедура [10] включва първо определяне на еквивалентните параметри на измервателните резонатори, а след това получаване на комплексната диелектрична проницаемост на измервания образец. Измерванията са на фиксирани честоти. За да се избегне този недостатък, е възможно използването на пренастройваеми в широк честотен обхват резонатори [9,11].

2 Метод с двойка SPDR резонатори

Предложена и изследвана е двойка измервателни резонатори split-post dielectric resonator (SPDR) [5]. Единият резонатор поддържа TE_{011} -мода, а другият – TM_{010} -мода (Фиг. 3). Аналитичните решения на SPDR са трудни поради сложността на структурата. Вместо



Фиг. 3: Двойка Split-Post Dielectric Resonators (SPDR) с моди TE_{011} и TM_{010} : (а) R1; (б) R2; (в) и (г) еквивалентни 3D модели с разпределение на полето; и (д) и (е) реални измервателни резонатори R1 и R2 [10].

това с помощта на 3D електромагнитен симулатор създаваме и симулираме 3D модел на структурата. Основните принципи при създаването на модела, както и измервателната процедура, са описани в [5]. Отново се търси съвпадение между измерените и симулирани резонансни параметри, както е при обикновените цилиндрични измервателни резонатори.

Резултатите от измерванията на комплексната диелектрична проницаемост на образци с призматична форма от Alumina, Sapphire и Quartz са показани в Табл. 1.

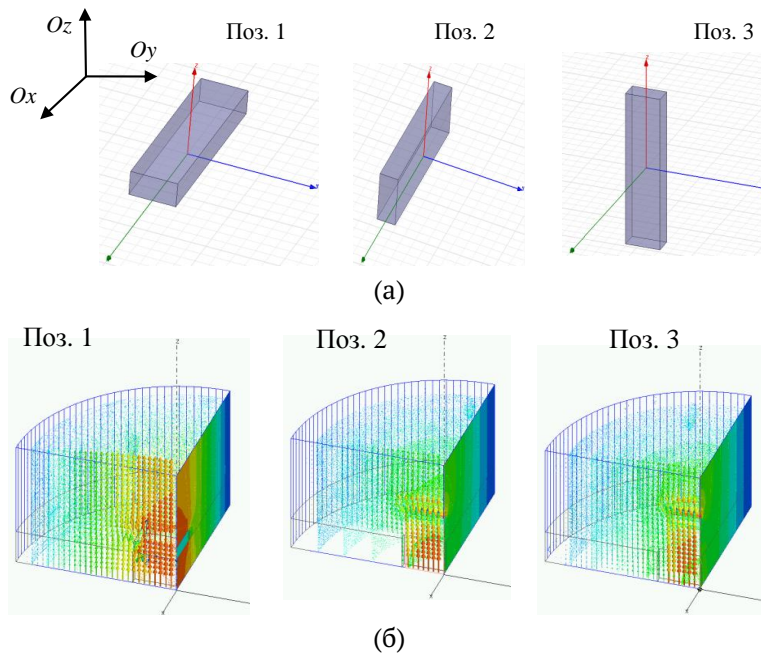
Табл. 1: Диелектрични параметри на кристални образци с призматична форма, измерени с двойка SPDR резонатори (метод на двата резонатора) [5]

Размери на кристален образец, mm	TE ₀₁₁ мода (e) резонатор $\varepsilon_{\parallel} / \tan \delta\varepsilon_{\parallel}$	TM ₀₁₀ мода (m) резонатор $\varepsilon_{\perp} / \tan \delta\varepsilon_{\perp}$
Alumina 19.8 × 19.6 × 6.0	9.883 / 0.0000523	9.0895 / 0.000028
Alumina 19.3 × 11.9 × 6.0	9.885 / 0.0000331	8.660 / 0.0000285
Alumina 19.0 × 6.8 × 6.0	9.724 / 0.0000134	8.322 / 0.0000323
Alumina 12.5 × 11.1 × 6.0	9.704 / 0.0000318	8.289 / 0.0000331
Sapphire 17.7 × 12.5 × 6.6	10.1118 / 0.0000293	8.425 / 0.000001
Sapphire 10.3 × 8.0 × 5.3	10.2915 / 0.0000302	7.820 / 0.000005
Quartz 12.8 × 12.3 × 9.3	4.462 / 0.0000685	4.177 / 0.000021

3 Метод с един резонатор

Предлагаме метод, който използва само един резонатор. За да се получи информация за диелектричната проницаемост в трите направления на структурата, образецът се поставя в резонатора последователно в три различни положения, по едно за всяко направление от координатната система, както е показано на Фиг. 4а). Правят се три измервания. Получената информация се обработва чрез симулиране на 3D модела на структурата в 3D електромагнитен симулатор и се получават трите стойности за относителната диелектрич-

Измерване на диелектричната анизотропия на кристални образци ...



Фиг. 4: Метод с един резонатор (пример с TM_{010} резонатор): (а) положения на образца в резонатора; (б) разпределение на електричното поле за трите положения на кристалния образец.

на прониктаемост ϵ_r на измервания образец. Основните принципи при създаването на 3D модела, както и измервателната процедура, са аналогични на описаните досега. На Фиг. 4б) се вижда 3D модела на измервателния резонатор заедно с образца и разпределението на електричното поле за трите положения на образца.

В Табл. 2 са показани резултатите, получени от измерването на кристални образци с призматична форма от неизвестен материал с помощта на измервателен резонатор с TM_{010} -мода.

Табл. 2: Диелектрични параметри на кристални образци от неизвестен (нов) материал, измерени с TM_{010} -мода резонатор (метод с един резонатор)

Кристален образец	Размери на образца, mm	$\epsilon_{\perp} / \tan \delta \epsilon_{\perp}$		
		Поз. 1	Поз. 2	Поз. 3
1	$8.13 \times 5.66 \times 0.805$	3.7 / 0.00018	4.14 / 0.00016	5.0 / 0.00022
2	$7.60 \times 6.16 \times 1.10$	3.9 / 0.0006	4.75 / 0.00064	4.2 / 0.00058
3	$7.60 \times 5.49 \times 0.985$	3.5 / 0.00047	4.5 / 0.00047	3.96 / 0.00038
4	$7.93 \times 6.98 \times 1.22$	3.96 / 0.0001	4.75 / 0.00022	4.2 / 0.00021

4 Заключение

Измерени са кристални образци с различна стойност на диелектричната проницаемост: както известни материали като кварц ($\varepsilon_r \sim 4$), Alumina ($\varepsilon_r \sim 10$), сапфир ($\varepsilon_r \sim 10$), така и неизвестен материал, на който са определени стойностите на ε_r в различните посоки на пространството ($\varepsilon_r \sim 5$). Стойностите за ε_r на познатите кристални образци, получени чрез използвания от нас метод с два резонатора, съвпадат с известните. Предложените методи дават добра възможност за измерване на диелектрична анизотропия на кристални образци без значение на използваната измервателна апаратура и софтуерен продукт.

Авторите благодарят на Фонд Научни изследвания на Софийски университет "Св. Климент Охридски" за поддръжката.

Литература

- [1] Richard G. Carter (2005) "Accuracy of Microwave Cavity Perturbation Measurements", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-49, No.5, May 2001, 918-923.
- [2] S. Ivanov, P. Dankov (2002) "Estimation of microwave substrate materials anisotropy", *Journal of Electrical Engineering, Slovakia* **53** 93-95.
- [3] V.N. Levcheva, B.N. Hadjistamov, P.I. Dankov (2008) "Two-Resonator Method for Characterization of Dielectric Substrate Anisotropy", *Bulg. J. Phys.* **35** (2008) 33-52.
- [4] P.I. Dankov, V.P. Levcheva, V.N. Peshlov (2005) "Utilization of 3D Simulators for Characterization of Dielectric Properties of Anisotropic Materials", *35th European Microwave Conference EuMW'2005*, Paris, France, pp. 515-519.
- [5] B.N. Hadjistamov, P.I. Dankov (2011) "Measurement of Dielectric Substrate Parameters Using Split-Post Dielectric Resonator Assisted by 3D Simulators", *Bulg. J. Phys.* **38** 191-198.
- [6] P. Dankov, B. Hadjistamov and V. Levcheva (2006) "Principles of Utilization of EM 3D Simulators for Measurement Purposes with Resonance Cavities", *4th MMS'2006*, 19-21 Sept., Genova, Italy, ID Number 90686, Proc. MMS'2006, pp. 543-546.
- [7] V. Levcheva (2006) "Characterization of Dielectric Materials with Electromagnetic Simulation of TM₀₁₀ Resonator", *Electrotechniques and Electronics* **11-12** 73-77.
- [8] P.I. Dankov, V.P. Levcheva, and I.I. Arestova (2007) "Two-resonator method for characterization of high-permittivity dielectric and ferrite substrate", *Proc. ICMF'2007*, 27-30, Budapest, Hungary, May 20-21.
- [9] B.N. Hadjistamov, V.P. Levcheva, and P.I. Dankov (2007) "Dielectric substrate characterization with Re-entrant resonators", *Proc. V Mediterranean Microwave Symposium (MMS'2007)*, 183-186, Budapest, Hungary, May 14-16.
- [10] Пламен Данков, B. Hadjistamov, I. Arestova and V. Levcheva (2009) "Measurement of Dielectric Anisotropy of Microwave Substrates by

Измерване на диелектричната анизотропия на кристални образци ...

Two-Resonator Method with Different Pairs of Resonators”, *PIERS'2009* (Progress in Electromagnetic Research Symposium), Moscow, Russia, 18-21 Aug. 2009, *Proc. PIERS*, pp. 1199-1203.

- [11] Plamen Dankov, B. Hadjistamov (2007) “Characterization of Microwave Substrates with Split-Cylinder and Split-Coaxial-Cylinder Resonators”, *Proc. 37th European Microwave Conference (EuMC'2007)*, 933-936, Munich, Germany.