



"МИС-РТ"-2021 Сборник №76-1-12-1 <http://ikar.udm.ru/mis-rt.htm>

Остывание ГП на выходе ПВР и левые ЭМ-волны

Климов А.И.

Часть 1

БЫСТРОЕ ОСТЫВАНИЕ ГП НА ВЫХОДЕ ПВР

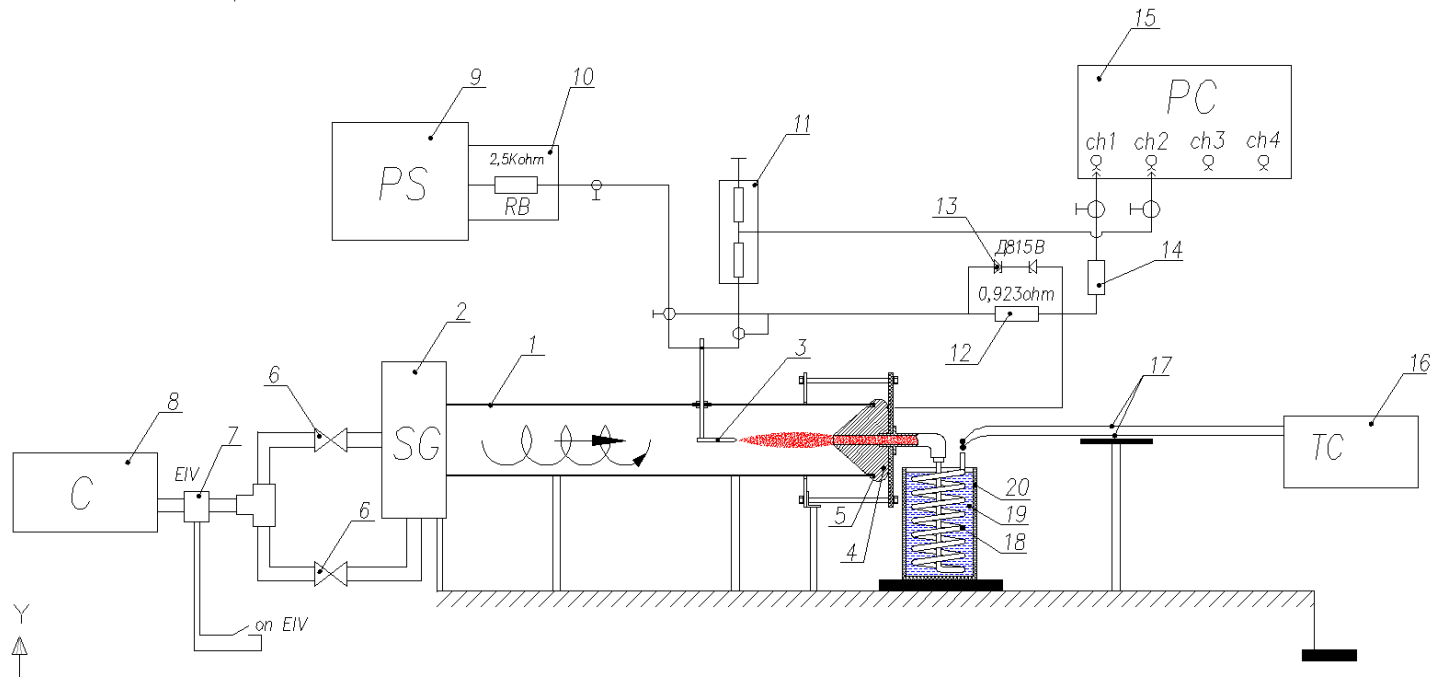
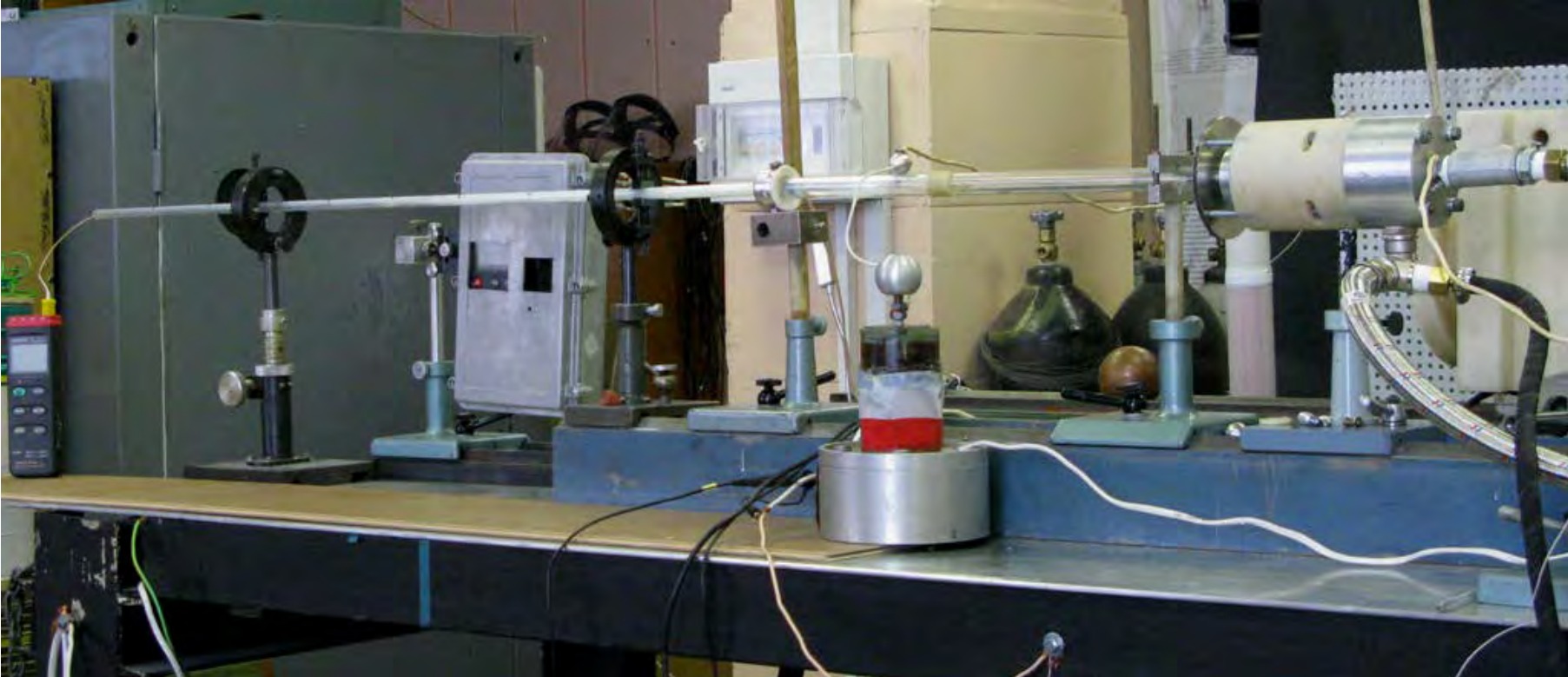


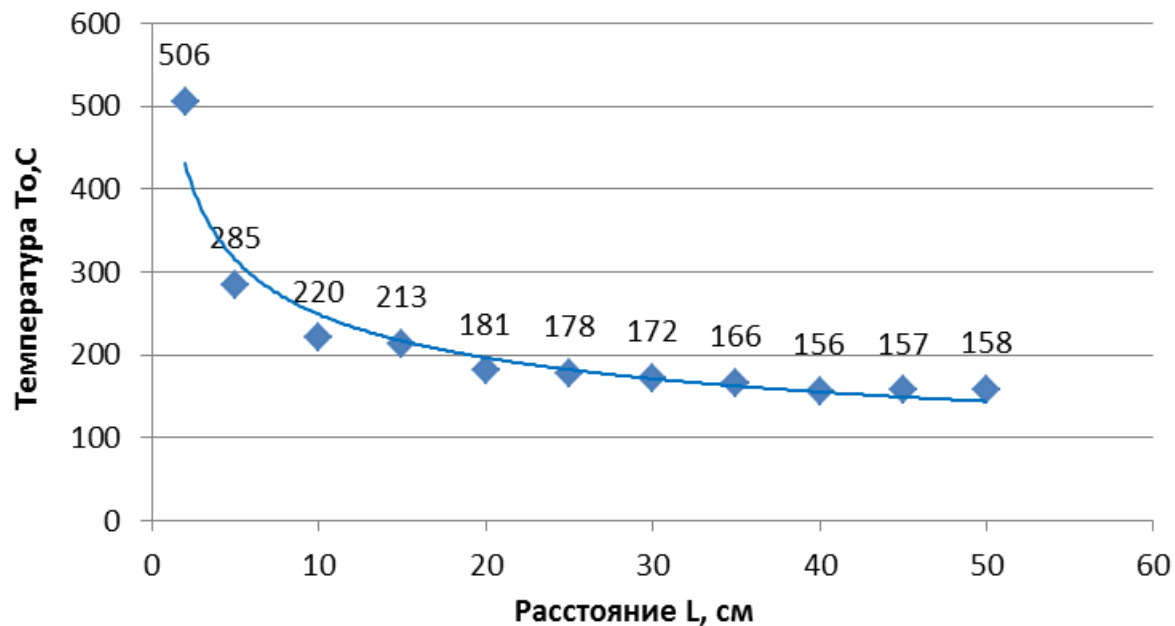
Схема calorиметрического эксперимента на установке ПВР .

1- кварцевая труба, 2- завихритель, 3,4- электроды, 6- клапан, 7- расходомер, 8- компрессор, 9,10- источник питания, 17- термопара, 18-20- теплообменник



Режим изучения охлаждения выходного газового потока на ПВР с помощью длиной измерительной трубки (1) диаметром 20мм и длиной 1000мм. 1-измерительная кварцевая трубка (теплообменник), 2- выходное сопло, 3-основной рабочий кварцевый канал диаметром 20мм, 4- зивихритель, 5- осевая подача газа, 6- V/V делитель, 7-тангенциальная подача газа, 8- инжектор пара

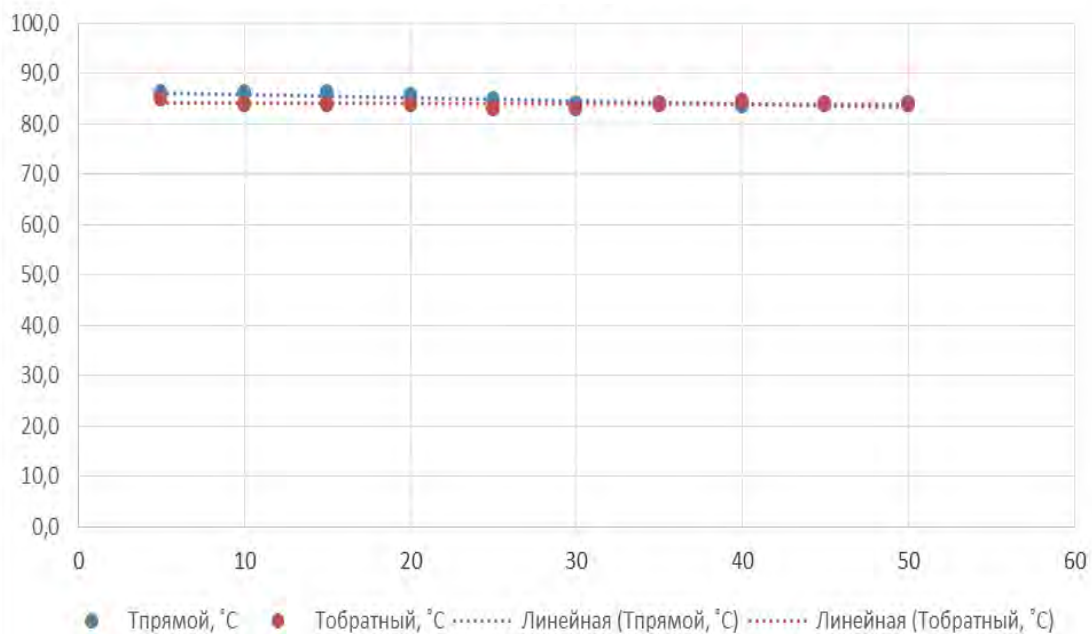
Эксперимент 3



Охлаждение ГП в длинном кварцевом канале.

Воздух+ водяной пар.

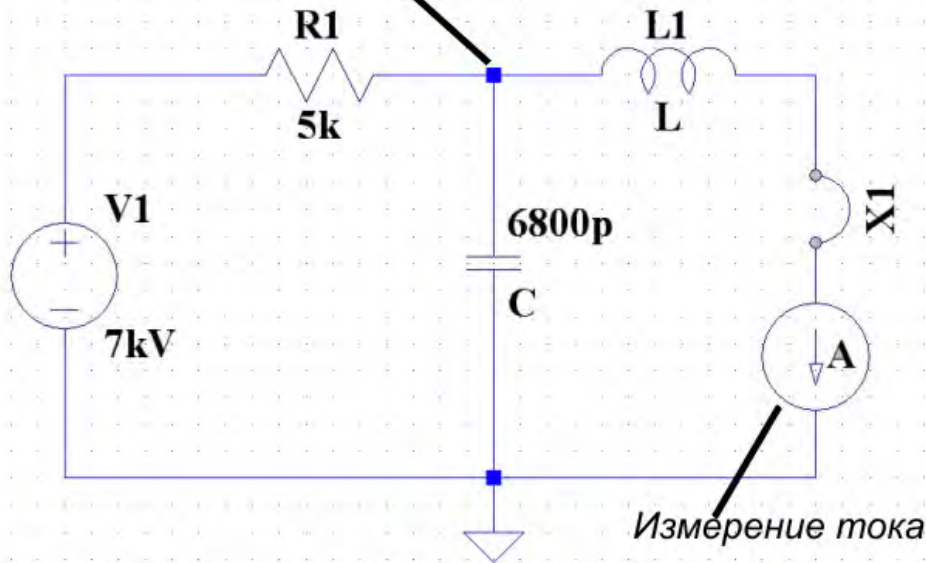
Охлаждение ГП в длинном кварцевом канале.
Чистый аргон.



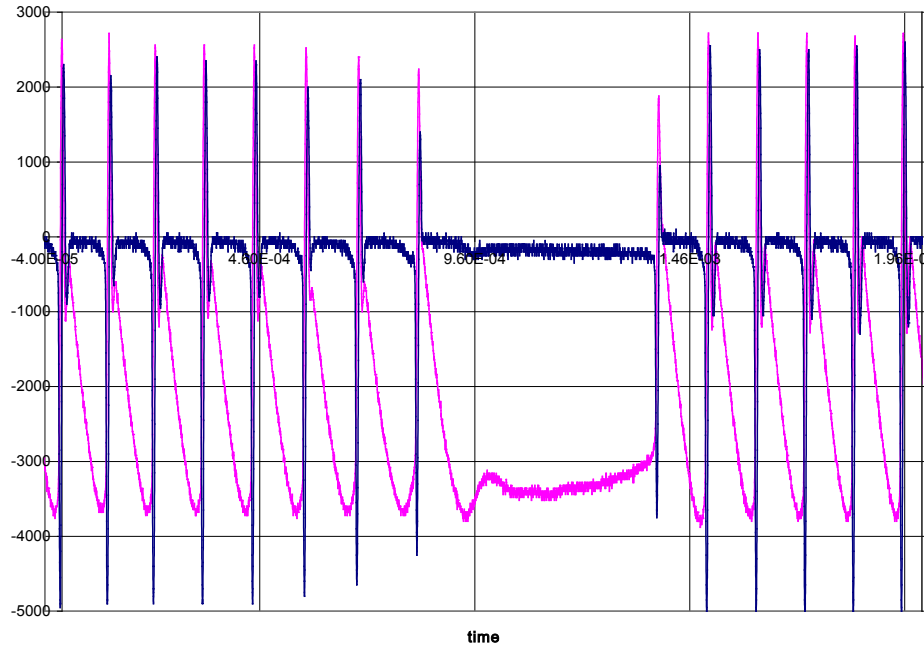
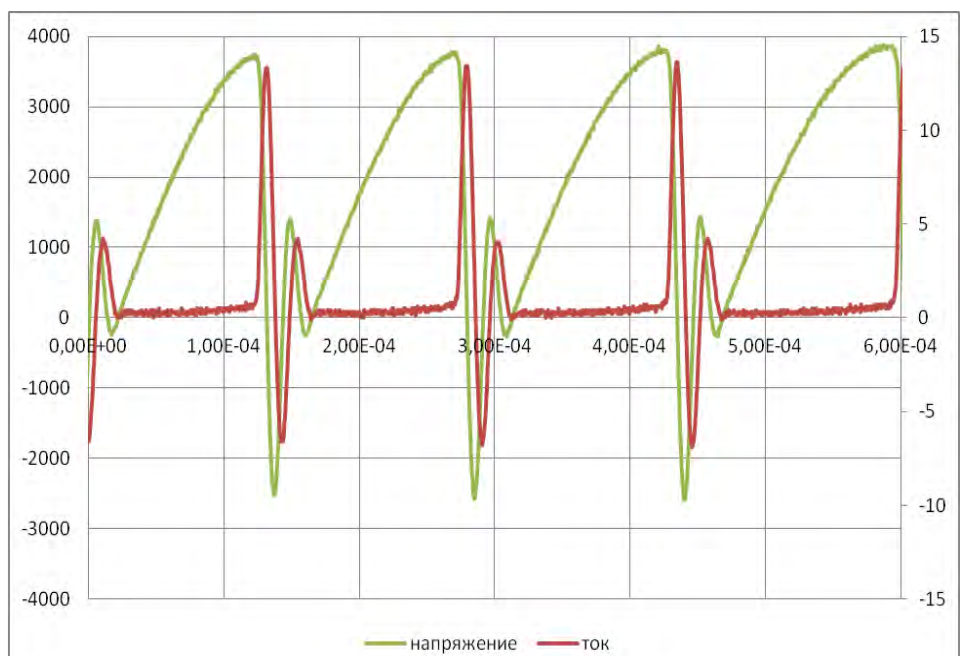
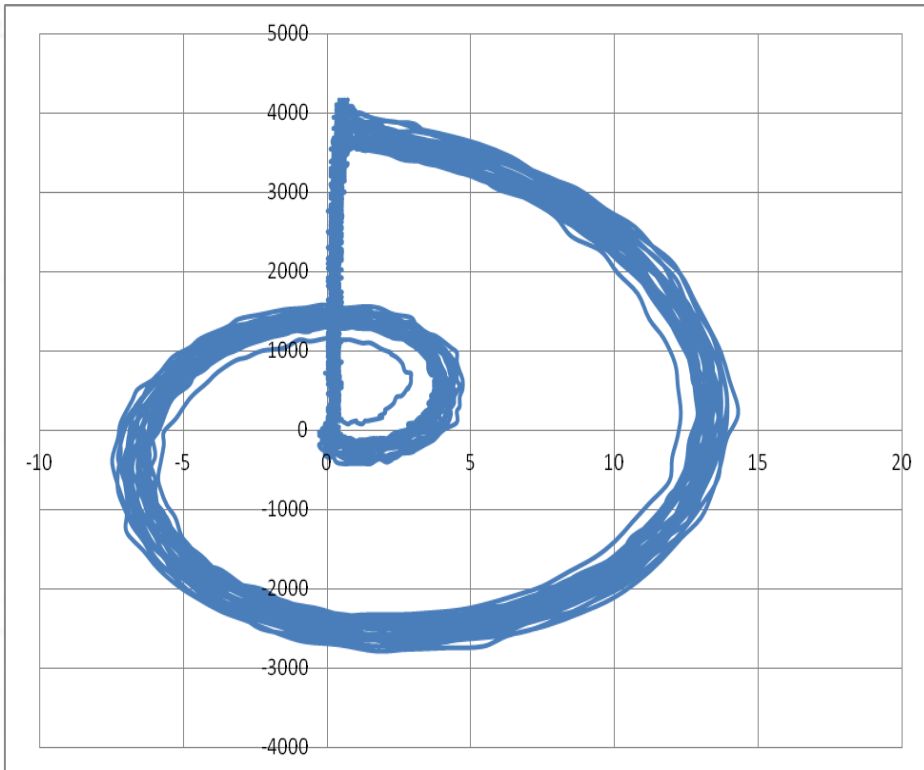
Часть 2

ГЕНЕРАЦИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ САМОПРОИЗВОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПВР ПРИ НАЛИЧИИ ПАРОВ ВОДЫ

точка подключения щупа для измерения напряжения



X1 - разрядный промежуток



Часть 3

**ГИПОТЕЗА О СВЯЗИ БЫСТРОГО
ОСТЫВАНИЯ ПОТОКА В ПВР С
ГЕНЕРАЦИЕЙ ЛЕВЫХ ВОЛН В ГП**

«Сверх»-материал:

- Отрицательные ε и μ
- Отрицательный коэффициент преломления
- Обратная волна

Уменьшение отражения от полости



Современный малозаметный самолет



(C)aviator.ru Sergey Martirosyan

«Правосторонние» и «левосторонние» среды

$$\Delta \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0$$

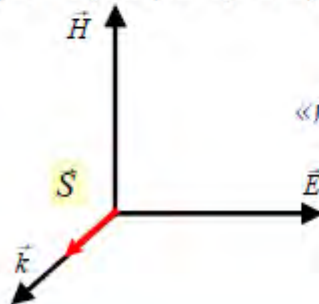
$$k = \omega \sqrt{\epsilon \mu}$$

$$\vec{E} \approx E_0 e^{-i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$$

$$\mu > 0; \quad \epsilon > 0;$$

Векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{k}

образуют правую тройку



В.Г. Веселаго, 1967:
«левые» и «правые» среды

$$\vec{S} = \frac{c}{4\pi} [\vec{E}, \vec{H}]$$

Плоская монохроматическая волна

D.V. Sivuhin, About the energy of electromagnetic field in dispersing media. *Optica i Spectroskopiya*, 3, No. 4, 308-312, 1957 (in Russian)

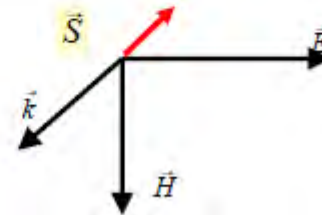
$$[\vec{k}, \vec{E}] = \frac{\omega}{c} \mu \vec{H} \quad [\vec{k}, \vec{H}] = -\frac{\omega}{c} \epsilon \vec{E}$$

Вектор \vec{k} и вектор Пойнтинга направлены противоположно

$$\mu < 0; \quad \epsilon < 0;$$

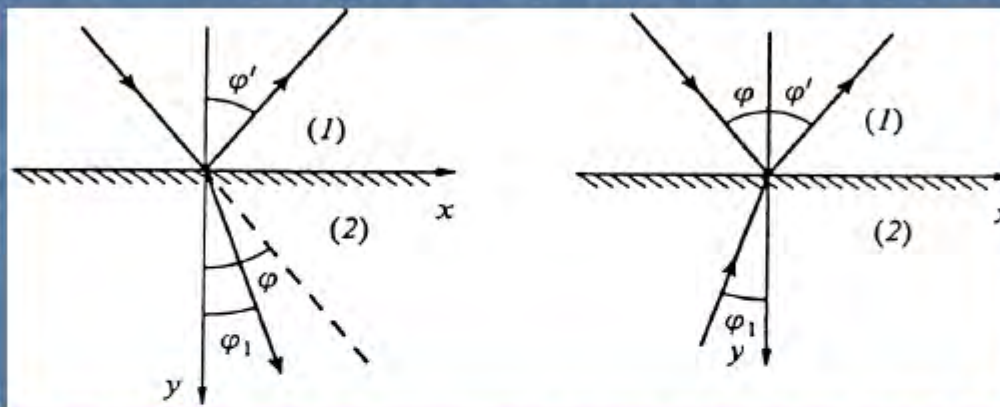
Векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{k}

образуют левую тройку



Отрицательное преломление

L.I. Mandelshtam. Lectures given on February, 26, 1940 and on May 5, 1944// Complete issue of works. Vol.5. Moscow: Izdatelstvo trudov AN SSSR. 1950.



"On plane $y=0$ these waves should meet, so called, boundary conditions. It is easy to show that only reflected wave (or only refracted one) cannot meet those conditions. However, if both waves exist the conditions are always met. It does not though mean at all, that not more then three waves should be present: boundary conditions permit the existence of one more wave, the fourth one, that goes at angle -1 in the second medium. There is a silent agreement over the absence of that wave, i.e. it is postulated that only one wave propagates in the second medium.

The wave corresponding to -1 propagates backwards the division boundary in the second medium (fig.2, left side). The wave corresponding to 1 propagates towards the division line (fig. 2, right side). It seems obvious that the second wave cannot exist because the light incidents from the first medium onto the second one, and therefore, the energy should moves off the division boundary in the second medium. But where does the energy come in? The direction of wave propagation is determined by its phase velocity, though the energy moves with the group velocity. Thus, a logical trick is present here, which is not felt only because we got used to coincidence in directions of energy and phase propagation. If the coincidence occurs, i.e. if the group velocity is positive, then everything is right. In the case of the negative group velocity, the case is quite real as I have mentioned, everything changes. Still demanding the energy to move off the division boundary we should conclude that the phase should move towards the boundary, and therefore, the direction of the reflected wave propagation will make angle -1 with regards to the normal (see fig. 2, right side). Such a construction may seem very unusual, though of no surprise, because the phase velocity says nothing yet about the direction of the energy flow".

Метаматериал – сильно диспергирующая среда

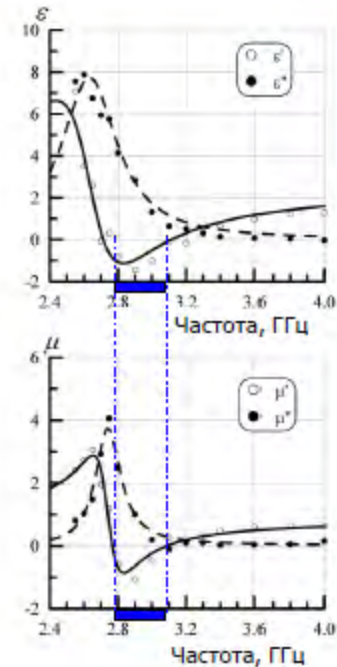
$$W = \varepsilon E^2 + \mu H^2$$

$$W = \frac{\partial(\varepsilon\omega)}{\partial\omega} E^2 + \frac{\partial(\mu\omega)}{\partial\omega} H^2$$

$$\frac{\partial(\varepsilon\omega)}{\partial\omega} = \varepsilon + \omega \frac{\partial\varepsilon}{\partial\omega} > 0,$$

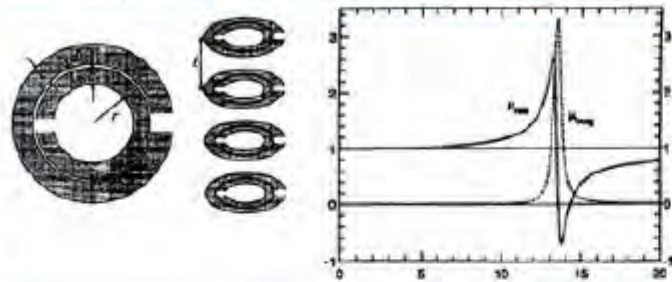
$$\frac{\partial(\mu\omega)}{\partial\omega} > 0$$

$$\varepsilon''(\omega) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon'(x) - 1}{x - \omega} dx$$



Некоторые структуры, позволяющие получить отрицательную эффективную магнитную проницаемость

J.B. Pendry et al. IEEE Trans. MTT. 1999. V.47, p.2075-2084.



S.A. Schelkunoff, H.T. Friis. Antennas: Theory and Practice. New York: John Wiley & Sons, 1952, p. 584.



Fig. 19.10 A loop loaded with capacitance.

effects of the changes in μ and ϵ on the index of refraction are opposite. What we need is a way of increasing the permeability rather than decreasing it.

19.10 Methods for increasing the permeability of artificial dielectrics

Consider a loop with a capacitor (Fig. 19.10). Let the impressed magnetic intensity H_0 be in the positive z direction. The counterclockwise induced current is

$$I = \frac{-j\omega\mu_0 H_0 S}{j\omega L + (1/j\omega C)} = \frac{\omega^2 \mu_0 C S H_0}{1 - \omega^2 LC} \quad (52)$$

where L is the inductance of the loop and C the capacitance in series with it. The moment of the magnetic doublet equivalent to the loop is

$$p_m = \mu_0 I S. \quad (53)$$

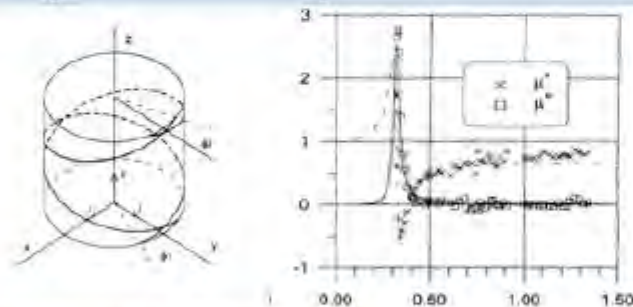
Hence, the magnetic polarizability is

$$\chi_m^0 = \frac{\omega^2 \mu_0^2 C S^2}{1 - \omega^2 LC} = \frac{\omega^2 \mu_0 \epsilon_0 (C/\epsilon_0) S^2}{1 - \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 (LC/\mu_0 \epsilon_0)} \mu_0. \quad (54)$$

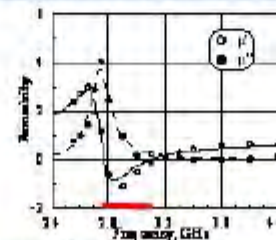
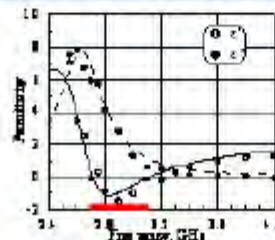


Fig. 19.11 A loop approaching resonance.

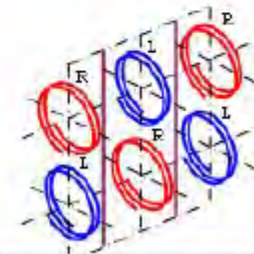
A.N. Lagarkov et al. Electromagnetics. 1997. V.17. No 3. P.213-237.



A.N. Lagarkov et al. Journ. of Magnetism and Magnetic Materials, 2003. V.258-259. P. 161-166.

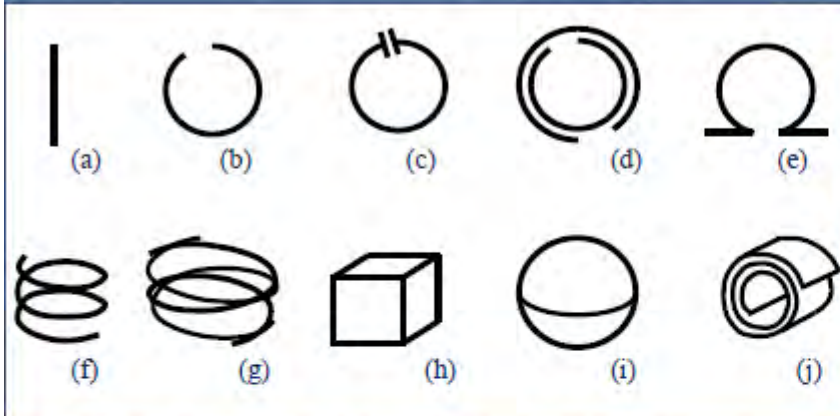


Developed 10+ years ago for some other purposes...



A.N. Lagarkov, V.N. Kissel. PRL, V. 92, 077401, 2004.

Некоторые типы включений в составе композитного материала



(a): A. N. Lagarkov, L. V. Panina, A. K. Sarychev et al., in: MRS Spring Meeting (1990), paper S 9.3.

A. I. Kolesnikov, A. N. Lagarkov, S. M. Matytsin et al., in: Optical and Electrical Properties of Polymers No. 214, edited by J. A. Emerson and J. M. Torkelson/Materials Research Society (1991).

A. N. Lagarkov, A. K. Sarychev, Y. R. Smychkovich et al., : J. Electromagn. Waves Appl. Vol. 6 (1992), p. 1159

A. N. Lagarkov and A. K. Sarychev: Phys. Rev. B Vol. 53 (1996), p. 6318

(b), (c): S.A. Schelkunoff and H.T. Friis: Antennas: Theory and Practice (New York. Wiley 1952)

(f), (g): A. N. Lagarkov, V. N. Semenenko, V. A. Chistyayev, D. E. Ryabov, S. A. Tretyakov and C. R. Simovski: Electromagnetics Vol. 17 (1997), p. 213

(h), (i): V.N. Semenenko, V.A. Chistyayev and D.E. Ryabov, in: Proc. Of the 7th Int. Crimean Conf. "Microwave and Telecommunication Technology", Sept. 15-18, Crimea, Ukraine (1997), p. 113

A.N. Lagarkov, V.N. Semenenko, V.N. Kisel and V.A. Chistyayev: J. Magn. Magn. Mater. Vol. 238-239 (2003), p. 161

(j): V.N. Semenenko, V.A. Chistyayev and D.E. Ryabov, in: Proc. of the Bianisotropics'98 7th Int. Conf. on Complex Media, June 3-6, Braunschweig, Germany (1998), p. 313

Необычное преломление, «суперлинза»

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} = -1$$

Линза Веселаго

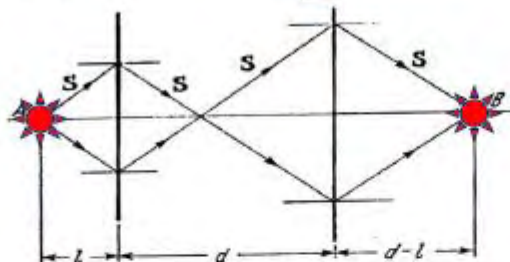
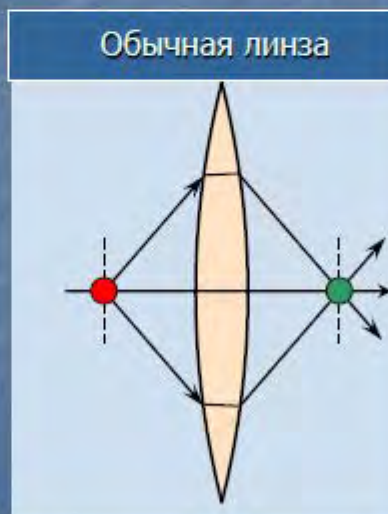


Рис. 4. Прохождение луча света через пластину из левого вещества толщиной d . A — источник излучения, B — приемник излучения.



Фотолитография с использованием тонкой серебряной пленки

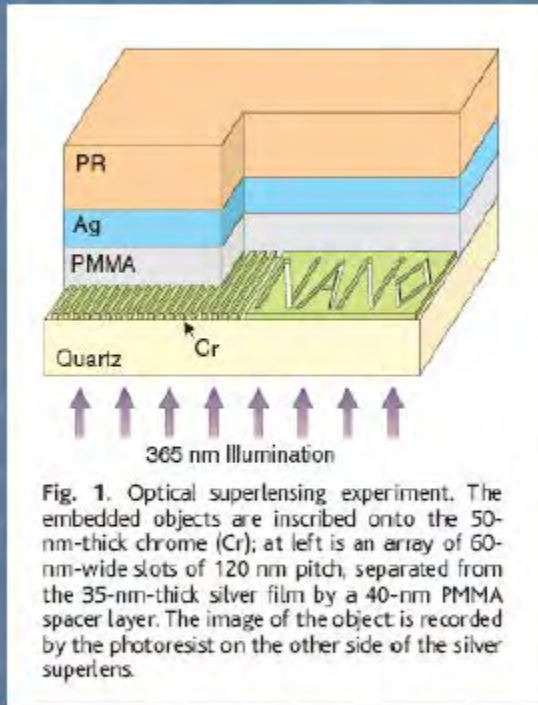
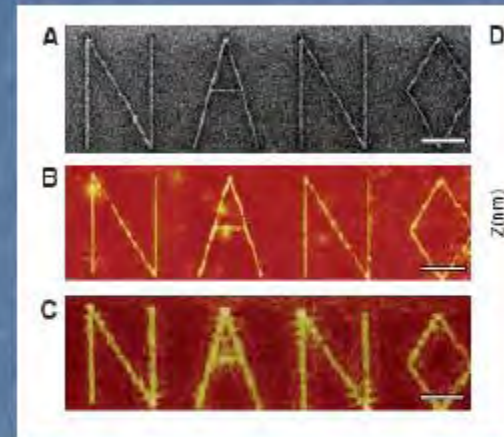


Fig. 1. Optical superlensing experiment. The embedded objects are inscribed onto the 50-nm-thick chrome (Cr); at left is an array of 60-nm-wide slots of 120 nm pitch, separated from the 35-nm-thick silver film by a 40-nm PMMA spacer layer. The image of the object is recorded by the photoresist on the other side of the silver superlens.



An arbitrary object "NANO" was imaged by silver superlens. (A) FIB image of the object. The linewidth of the "NANO" object was 40 nm. Scale bar in (A) to (C), 2 nm. (B) AFM of the developed image on photoresist with a silver superlens. (C) AFM of the developed image on photoresist when the 35-nm-thick layer of silver was replaced by PMMA spacer as a control experiment.

N. Fang et al., 2005

Роль потерь в проявлении эффектов сверхразрешения и отрицательного преломления

N.Fang, X.Zhang, Appl. Phys. Lett., **82**, 161 (2003)

D.Smith et al., Appl. Phys. Lett., **82**, 1506 (2003)

C.Ong, X.Rao, Proc.Symp. F. Electromagnetic Materials. Int.Conf. on Materials for Advanced Technologies 2003 (ICMAT-2003). Singapore: World Scientific Publishing Co., 2003. P. 123.

X.Rao, C.Ong, Phys. Rev. E., **68**, 067601 (2003)

V.Kissel, A.Lagarkov. Proc.Symp. F. Electromagnetic Materials. Int.Conf. on Materials for Advanced Technologies 2003 (ICMAT-2003). Singapore: World Scientific Publishing Co., 2003. P.145.

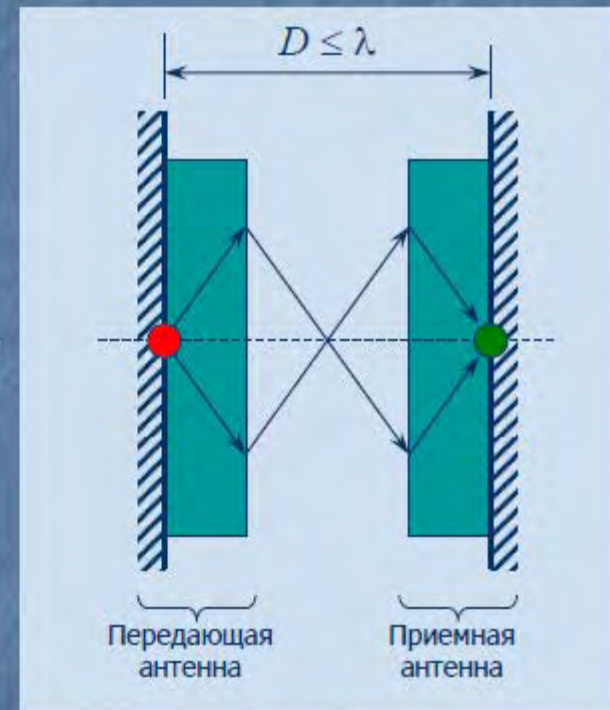
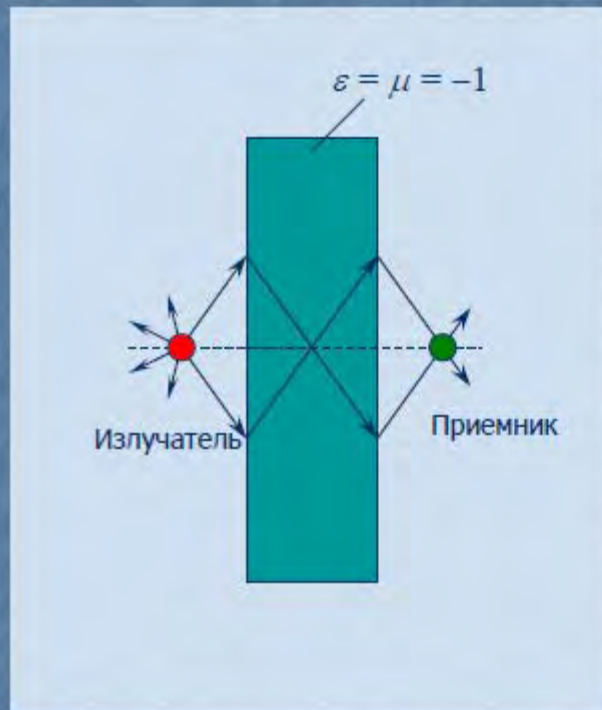
A.Lagarkov, V.Kisel, Dokl. Phys., **49**, 5 (2004)

M. Stockman, Phys. Rev. Lett., **98**, 177404 (2007)

Другие задачи, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значение

- Возможность компенсации потерь в метаматериалах при помощи активных сред
- Поглощение энергии всенаправленного источника
- Беспроводная передача энергии в системах с метаматериалами

Передача энергии с использованием метаматериалов



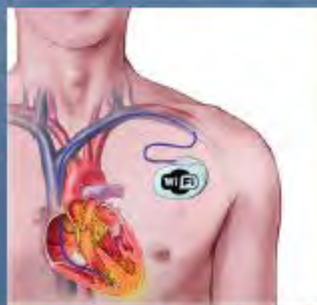
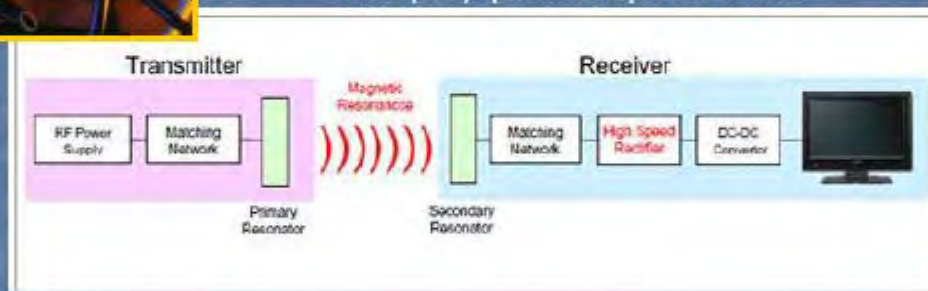
Беспроводная передача энергии



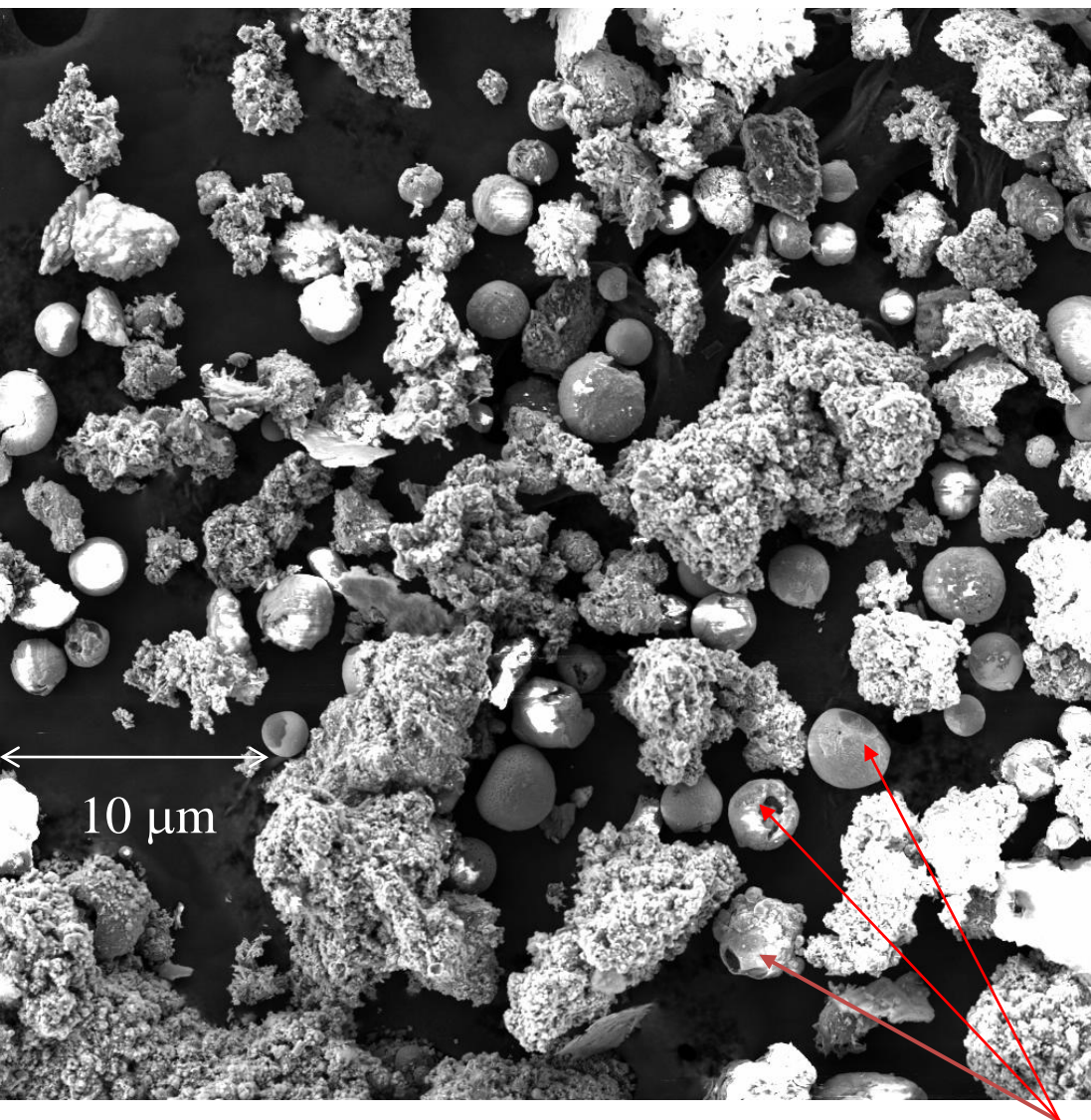
Зарядка мобильных телефонов, плееров, фотоаппаратов и т.п.



Беспроводное питание бытовой техники
ТВ Sony: $R=0,5$ м,
 $P=60$ Вт, КПД=60..80%



Анализ пылевых частиц из ПВР Электроды- алюминий

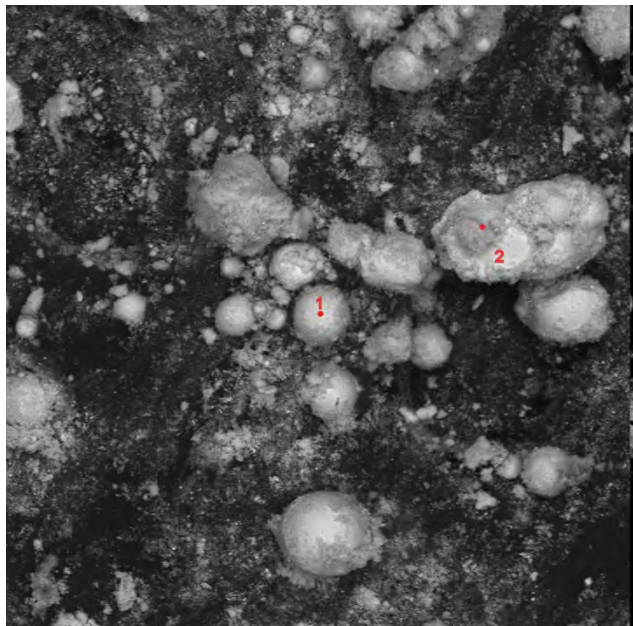


Final Powder

	Elmt	Wt%	At%
1	O	49,54	62,83
	Al	48,52	36,49
2	O	52,05	64,68
	Al	47,95	35,32
3	O	54,49	67,01
	Al	45	32,81
5	O	51,67	64,46
	Al	47,79	35,35
9	O	36,54	49,41
	Al	62,31	49,96
19	O	38,81	51,69
	Al	61,19	48,31
20	O	34,46	51,39
	Al	61,18	48,47
21	O	47,81	60,97
	Al	50,8	38,41
22	O	51,33	64,09
	Al	48,33	35,79
24	O	44,48	58,22
	Al	52,46	40,72
26	O	38,8	52,81
	Al	56,3	45,44
27	O	25,5	44,01
	Al	40,03	40,97
28	O	36,38	50,43
	Al	57,86	47,56

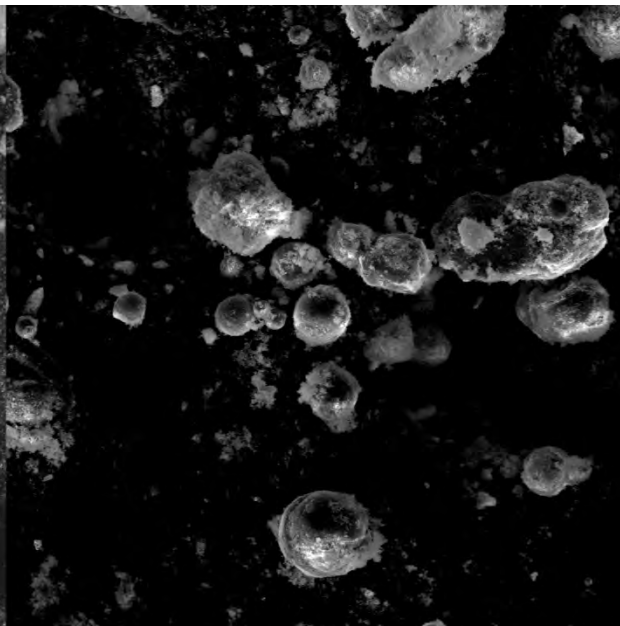
Полые сферы с дырками- возможные резонаторы для левых волн

Анализ пылевых частиц из графита на выходе ПВР



SEM HV: 20.00 kV
SEM MAG: 833 x
Date(m/d/y): 06/22/15

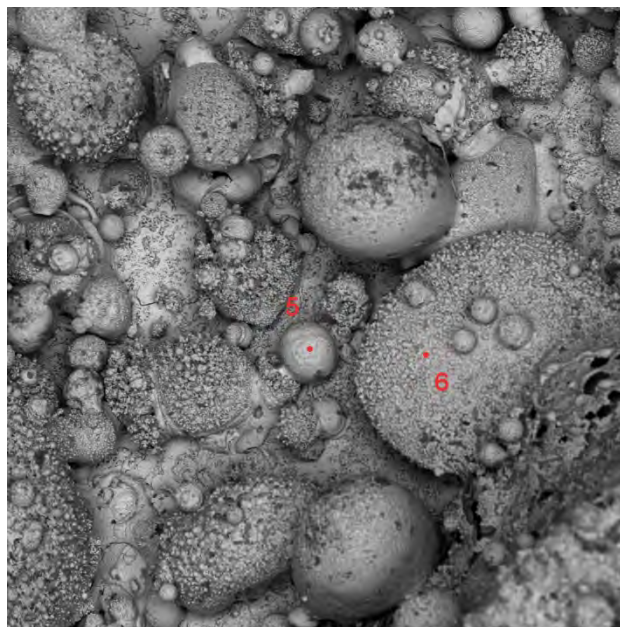
Vac: HiVac
Det: BSE Detector + SE Detector
Ван К.В.



200 µm

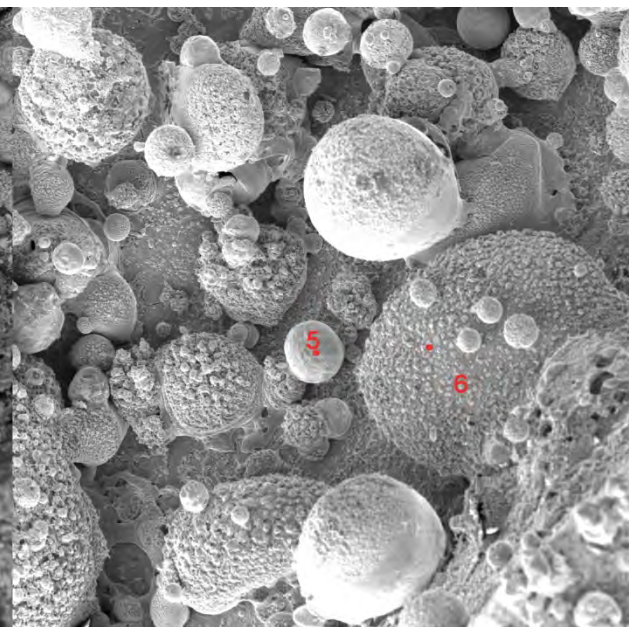
VEGA\\ TESCAN
RSMA Group IEM RAS

Анализ пылевых частиц – никелевые электроды



SEM HV: 20.00 kV
SEM MAG: 333 x
Date(m/d/y): 06/22/15

Vac: HiVac
Det: BSE Detector + SE Detector
Ван К.В.



500 µm

VEGA\\ TESCAN
RSMA Group IEM RAS