

**METODĂ DE MĂSURARE
PENTRU DETERMINAREA
ATENUĂRII CÂMPULUI
ELECTROMAGNETIC
ÎN NANOMATERIALE
UTILIZÂND INCINTA TEM
(Partea a II-a)**

**MEASUREMENT METHOD
FOR DETERMINING
ELECTROMAGNETIC FIELD
ATTENUATION IN
NANOMATERIALS
USING THE TEM CELL
(2st Part)**

George NICOLAE

“Transilvania” University of Braşov, Romania

Rezumat. În lucrare sunt prezentate rezultate experimentale referitoare la atenuarea câmpului electromagnetic de către materiale care au în compoziția lor microparticule de fier, grafit sau negru de fum. Pentru cunoașterea efectului de ecranare efectivă asupra câmpului electromagnetic de către materialele cu proprietăți absorbant electromagnetic este propus un sistem măsură cu incinta TEM. Cu acest sistem de măsurare au fost efectuate determinări referitoare la proprietățile de ecranare electromagnetică a materialelor în domeniul de frecvență cuprins între 1 MHz și 1000 MHz. Studiul experimental a fost desfășurat în cadrul proiectului CNCSIS 429/2006 „*Studiul proprietăților de ecranare a materialelor obținute prin nanotehnologii și nanoprocesare în vederea integrării în sistemele electrice și electronice pentru îmbunătățirea calității mediului*”.

Cuvinte cheie: ecranare efectivă, sistem de măsurare a atenuării, materiale de ecranare, nanomateriale

1. Introducere

(extras din numărul anterior)

Ponderea câmpurilor electromagnetice se plasează în domeniul zecilor și sutelor de MHz, domeniu în care o mare diversitate de echipamente radioelectronice funcționează prin emisia și recepția de radiație electromagnetică.

Prevederile organismelor internaționale [1, 2] impun luarea de măsuri pentru reducerea influenței perturbatoare a câmpurilor electromagnetice generate de marea diversitate de echipamentele și încadrarea acestora în cerințele de compatibilitate electromagnetică.

Știința modernă a dezvoltat o nouă categorie de materiale – nanomateriale – ca rezultat al amestecului de particule materiale cu proprietăți electrotehnice diferite.

Prin structura lor, nanomaterialele prezintă particularități comportamentale care le pot situa în zonele extreme ale conductivității electrice și permitivității magnetice prin controlul structurii și compoziției interne [5].

Abstract. This paper presents the results of experimental determinations concerning electromagnetic field attenuation in materials containing micro-particles of iron, graphite or carbon black in their structure. In order to determine the shielding effectiveness of electromagnetic absorbents to electromagnetic field, a measuring system based on the TEM cell was proposed and tested. This measurement system was used to determine the electromagnetic shielding properties of materials at frequencies ranging between 1MHz and 1000 MHz. The experimental investigations were conducted in the frame of the CNCSIS project No 429/2006 “*Study of shielding properties of materials obtained by nano-technologies and nano-processing with application in electrical and electronic equipments in order to improve the quality of the environment*”.

Key words: shielding effectiveness, attenuation measurement system, shielding materials, nano-materials

1. Introduction

(extract from the previous number)

The most perturbing effects of electromagnetic fields occur in the frequency intervals between some tens of MHz and hundreds of MHz, an interval characteristic to many receiving and transmitting equipments.

The directives and regulations issued by international organizations [1, 2] provide specific measures that must be taken in order to minimize the influence of the perturbing electromagnetic fields generated by a wide variety of equipments which are accordingly classed to harmonize with the requirements of electromagnetic compatibility.

Recent advances in science and technology have led to the development of a new class of materials – nano-materials, obtained by combining material particles having different electrical and magnetic properties. Due to their structure, nano-materials present physical properties conferring them extreme values of electrical conductivity and magnetic permeability, which can be attained by controlling their internal structure and composition.

2. Sistem de măsurare și metodă de măsurare propus (extras din numărul anterior)

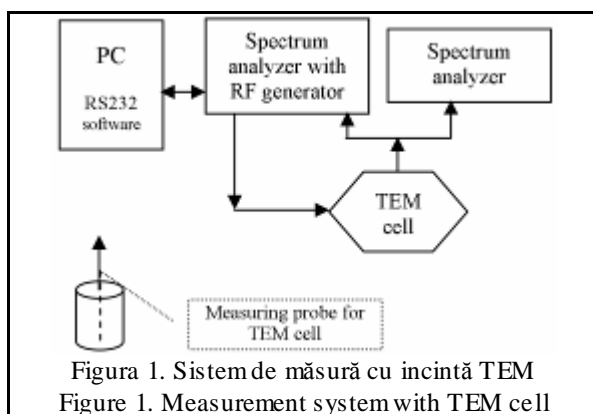
În lucrare se propune un sistem de măsurare în domeniul de frecvență cuprins între 10 MHz și 1000 MHz bazat pe o incintă TEM, figura 1. În interiorul incintei TEM câmpul de radiofrecvență prezintă componente de câmp electric și magnetic de natură plană. Un astfel de sistem asigură eliminarea influențelor perturbatoare ale câmpurilor electromagnetice externe asupra rezultatelor măsurărilor.

Detalii asupra echipamentului de studiu și a materialelor utilizate sunt prezentate în figura 2.

2. The proposed measurement system and method (extract from the previous number)

The paper proposes a measurement system conceived to operate in the frequency range between 10 MHz and 1000 MHz which was arranged around a TEM cell, figure 1. Inside the TEM cell, the electromagnetic field is produced in form of plane waves of magnetic and electrical components. Such a system ensures that most of the perturbing influences of the external RF fields that could affect the measurement results are eliminated.

Figure 2 presents a general view with details of measurement setup and its elements.



Pentru efectuarea determinărilor asupra diferitelor materiale de studiu acestea au fost dispuse în jurul probei de măsură în interiorul incintei TEM. Metodologia de măsurare a constat în măsurarea puterii câmpului de radiofrecvență captat de sonda electrică în absența eșantioanelor de materiale de ecranare P_1 și în prezența acestora P_2 .

Pe baza măsurărilor efectuate se poate determina puterea câmpului electromagnetic absorbit, ecranarea efectivă, relația (1), și atenuarea câmpului electromagnetic, [6, 8]:

$$SE_{[dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1)$$

$$a_{[dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (2)$$

3. Validarea experimentală a metodei de măsurare

Metoda de măsurare a ecranării efective a materialelor compozite pe bază de microparticule de fier, grafit sau negru de fum a fost supusă unui ciclu de măsurări efectuate pe materiale cu proprietăți cunoscute sau determinate și prin alte metode. Pentru edificare se prezintă următoarele metode de

3. Experimental validation of the measurement method

The measurement method used for determining the shielding effectiveness of composite materials containing micro/particles of iron, graphite or carbon black was employed over a series of experimental determinations conducted on materials with known properties or determined through other

validare a metodei de măsurare propusă:

- rezultate ale măsurărilor efectuate pe un eșantion de cupru, comparate cu valori ale ecranării efective prezentate în lucrarea [3];
- rezultate ale atenuării determinate pe materiale având în compoziție microparticule, comparate cu mărimi prezentate în lucrarea [5].

În prima etapă de verificare a metodei de măsurare propusă sunt prezentate, în tabelul 1 și figura 3, date referitoare la ecranarea efectivă pentru folii de cupru având grosimi de 10 nm, 7,62 nm și 25,4 nm. Valorile ecranării efective și reprezentarea grafică pentru ecranul de cupru având grosimea de 7,62 nm și 25,4 nm sunt extrase din lucrarea de referință [3]. Datele și reprezentarea grafică pentru folia de cupru având grosimea de 10 nm sunt obținute prin măsurări efectuate cu incinta TEM.

methods. To exemplify this, below are presented the following:

- Measurement results obtained using a copper sample, compared to the shielding effectiveness, presented in [3];
- Attenuation measurements for material samples containing micro-particles compared to results presented in [5].

During the first stage of verification of the proposed method, in table 1 and figure 3 are presented measured values of the shielding effectiveness for 10 nm, 7.62 nm and 25.4 nm thick copper foils. The values for the shielding effectiveness and the graphical representation for the copper foil measured the 7.62 nm and 25.4 nm are taken from [3]. The data and the graphical representation for the 10 nm copper foil are obtained through measurements using the TEM cell.

Tabelul 1. Ecranarea efectivă pentru ecrane din cupru având grosimi diferite
Table 1. Shielding effectiveness for copper shielding of different thicknesses

f[MHz]	10	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Cu 7.62 nm	74	64	58	53	48	44	42	40	39	38	38	38
Cu 25.4 nm	82	74	72	62	56	54	52	50	50	49	49	49
Cu 10.0 nm	76.0	68.0	62.0	54.0	49.0	45.0	43.0	42.0	41.5	42.0	42.5	43.5

* rezultate din reprezentări de referință; / results obtained from reference;

** rezultate obținute prin măsurări cu incinta TEM; / results obtained from measurement with TEM cell.

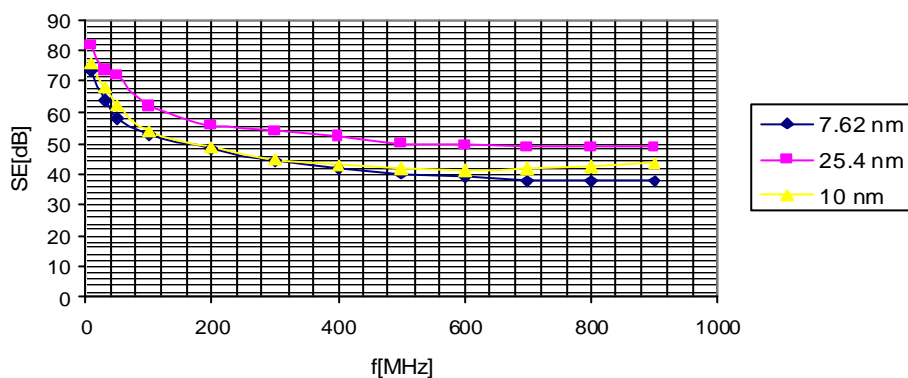


Figura 3. Ecranarea efectivă SE pentru ecrane din cupru de 7,62 nm și 25,4 nm extrasă din reprezentări de referință și ecranarea efectivă obținută prin măsurări cu incintă TEM pentru ecranul din cupru de 10 nm

Figure 3. Shielding effectiveness for 7.62 nm and 25.4 nm copper shielding obtained from reference graphs and shielding effectiveness obtained by measurement with TEM cell for 10 nm copper

În banda de frecvență cuprinsă între 10 MHz și 900 MHz rezultatele obținute pentru ecranul de cupru de 10 nm confirmă valabilitatea metodei de efectuarea a măsurărilor cu ajutorul incintei TEM.

Curba de variație a ecranării efective (figura 3) pentru folia de cupru de 10 nm supusă măsurării cu incintă TEM se încadrează corect între curbele de variație ale atenuării unor folii de cupru având grosimi de 7,62 nm și 25,4 nm, curbe prezentate în lucrări de referință [3].

In the frequency band between 10 MHz and 900 MHz, the results obtained with the 10 nm copper shielding are confirming the validity of the measurement method using a TEM cell.

The plot of the shielding effectiveness (figure 3) for the 10 nm copper foil measured by means of a TEM-cell lays correctly between the similar plots drawn for 7.62 nm and 25.4 nm copper, which are presented in reference works [3].

A doua metodă de validare a metodei de măsurare propusă are la bază cunoașterea atenuării unor materiale cu proprietăți absorbant electromagnetic, produse în țară la Institutul Național de Cercetări Dezvoltare pentru Inginerie Electrică - ICPE-Cercetare Avansată. Pentru această categorie de materiale compozite care conțin particule de grafit, negru de fum sau fier sunt cunoscute atenuările numai pentru frecvențe cuprinse între 800 MHz și 2 GHz.

În tabelul 2 și figura 4 sunt prezentate valorile atenuării la trei frecvențe, 800 MHz, 900 MHz și 1000 MHz, care sunt luate ca referință din lucrarea [5]. Aceste valori sunt comparate cu valorile obținute prin măsurări efectuate utilizând sistemul propus. Analiza datelor experimentale și a graficelor pentru două tipuri de materiale, GR150 și FT150 având grosimi cunoscute, demonstrează corectitudinea metodei propuse.

Metoda și sistemul de măsurare a atenuării și ecranării efective pot fi utilizate în practica determinărilor pe materiale care au în compoziție microparticule cu proprietăți conductive din fier, grafit, negru de fum.

The second stage of validating the proposed measurement method is based on the knowledge of the attenuation values of electromagnetic absorbents, developed by the advanced research division at the ICPE National Research Laboratory. For this class of composite materials which contain particles of graphite, carbon black or iron are given only the attenuation values at frequencies between 800 MHz and 2 GHz.

In table 2 and figure 4 are presented the attenuation values at three frequencies 800 MHz, 900 MHz and 1000 MHz that are considered reference values in [5]. These values are then compared with the measurement results obtained by using the proposed system. By analyzing the experimental data and examining the graphs for two types of materials, GR150 and FT150 with known thickness, the correctness of the proposed method was demonstrated.

Consequently, both the method and the measuring system of the attenuation and shielding effectiveness can be used in experimental determinations on materials containing conductive micro-particles of iron, graphite and carbon black.

Tabelul 2. Atenuarea, în dB, pentru materiale de tip absorbant electromagnetic
Table 2. Attenuation, in dB, for materials electromagnetic absorbent properties

Material	f [MHz]	800	900	1000	Data source
GR150, thickness 3.6 mm		-1.76	-1.83	-1.90	Provided by ICPE-CA
GR150, thickness 2.8 mm		-1.48	-1.58	-1.70	Measured with TEM cell
FT150, thickness 2.3 mm		-0.95	0.81	0.75	Provided by ICPE-CA
FT150, thickness 3.0 mm		1.18	1.12	1.08	Measured with TEM cell

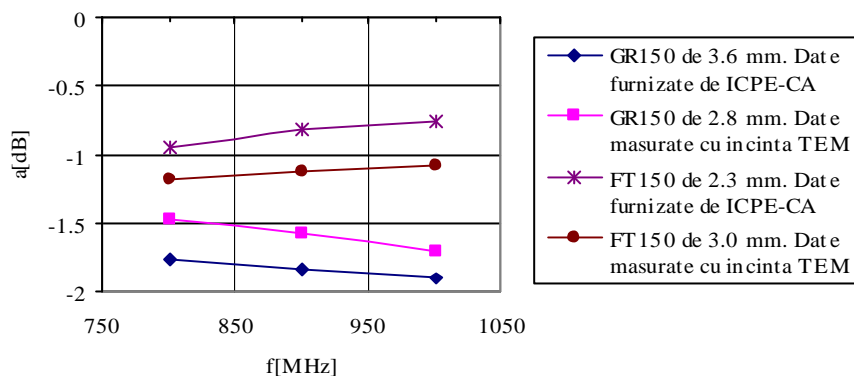


Figura 4. Grafice de comparație a valorilor atenuării măsurate cu incinta TEM pentru două tipuri de materiale
Figure 4. Comparative graphs of attenuation values measured with TEM cell for two type materials

4. Rezultate experimentale

Materialele supuse studiului sunt produse la Institutul Național de Cercetare ICPE-CA și pot fi utilizate în diverse aplicații din domeniul electrotehnicii, telecomunicațiilor și al materialelor de construcție.

4. Experimental results

The studied materials were developed by the National Research Laboratory ICPE-CA and are part of multiple applications in the field of electrical and electronic engineering telecommunications and constructions.

Atenuarea intensității câmpului electromagnetic de radiofrecvență este una din proprietățile materialelor care au în compoziție microparticule cu proprietăți conductive din punct de vedere electric. Astfel de materiale pot fi utilizate, în funcție de mărimea atenuării câmpului de radiofrecvență și domeniul de frecvență, ca materiale de ecranare pentru diverse aparate și instalații. În acest capitol sunt prezentate rezultatele experimentale privind măsurarea ecranării efective a unor materiale compozite produse în țară și pentru care nu sunt cunoscute particularitățile de atenuare electromagnetică în domeniul frecvențelor cuprinse între 10 MHz și 1000 MHz.

În baza algoritmului metodei de măsurare și a sistemului de măsurare propus precum și a relațiilor de calcul (1) și (2) au fost determinate valorile ecranării efective SE în domeniul frecvențelor 10 MHz ÷ 1000 MHz. Măsurările au fost efectuate pentru eșantioane de materiale având în compoziția acestora microparticule de fier (FE300), grafit (GR150 și GR300), negru de fum (TN150 și TN300) și ferită (FT150).

Eșantioanele de materiale cu microparticule conductive utilizate au avut grosimi diferite, specificate în tabelul 3. Pe baza datelor din tabelul 3 au fost trasate curbele de variație ale ecranării efective în figura 5 și figura 6.

Edificator este faptul că reprezentările grafice constituie o continuare a curbelor de variație ale atenuării în domeniul 800 MHz la 10 MHz pentru reprezentările oferite de către Institutul National de Cercetare ICPE-CA.

5. Concluzii asupra metodei de măsurare propusă

Pe baza rezultatelor obținute se poate aprecia că metoda propusă este utilă experimentărilor practice pentru aflarea atenuării unor materiale care pot fi utilizate ca ecrane electromagnetice. Metoda este relativă simplă, dar impune a fi efectuate mai multe cicluri de măsurări pentru a elimina erorile datorate manipulării componenteii de sistem adaptor cu sondă de măsură.

Metoda de măsurare este adecvată pentru câmpuri de radiofrecvență de unde metrice și decimetrice în care sunt legături de radiocomunicații pentru servicii cu utilitate locală pe arii restrânse și care pot afecta buna funcționare a unor echipamente staționare sau mobile care lucrează cu nivele mici de putere.

Sistemul de măsură propus a fost adaptat și pentru studiul proprietăților de ecranare a unor

One of the most useful applications of these materials containing in their structure electrically conductive micro-particles is made possible due to their property to attenuate RF fields. Depending on the attenuation level of RF fields in a specific frequency range, these materials can be used in form of shielding elements for various equipments and systems. In this section are presented the experimental results obtained by measuring the shielding effectiveness of several types of composite materials of indigenous production, with known electromagnetic field attenuation characteristics, in the frequency range between 10 MHz and 1000 MHz.

Using the algorithm of the measuring method along with the proposed measurement system and the calculation formulas (1) and (2), were determined the values of the shielding effectiveness SE in the 10 MHz ÷ 1000 MHz frequency domain. The measurements were conducted with material samples containing conductive micro-particles of iron (FE300), graphite (GR150 and GR300), carbon black (TN150 and TN300) and ferite (FT150).

The used micro-particles material samples had different thickness, as indicated in table 3. The plots of the shielding effectiveness in figures 5 and 6 were constructed from the data presented in table 3.

Thus, it becomes obvious that these graphical representations are a continuation of the attenuation curves between 800 MHz and 10 MHz offered by the National Research Laboratory ICPE-CA.

5. Conclusions about the proposed measurement method

Based on the obtained results it can be appreciated that the proposed method can successfully be employed for experimental investigations in order to determine the attenuation characteristics of materials used for electromagnetic shielding. The method is relatively simple and straightforward but it requires to be employed over several measurement cycles in order to eliminate possible errors due to handling procedures required by the system adapter and measuring probe.

The measurement method is adequate for RF fields in the meter and decimeter bands, utilized by most local telecommunications services which can affect the normal functioning of stationary or mobile electric and electronic equipments which operate at low power levels.

The proposed measurement system was also

materiale utilizate în domeniul construcțiilor, fapt de loc neglijabil în actualele sisteme de comandă, protecție și securizare a sediilor unor instituții publice și a locuințelor inteligente.

adapted for the study of shielding properties of new construction materials which are extensively used combination with the control and safety systems for public buildings and intelligent homes.

Tabelul 3. Valori ale ecranării efective *SE* măsurată în *dB* pentru materiale cu proprietăți absorbant electromagnetic
 Table 3. Shielding effectiveness *SE* measured in *dB* for electromagnetic absorbent materials

f [MHz]	10	40	70	100	200	400	600	800	900	1000	1100
Tip material Typ of material											
FT150 - 3.0 mm	-0.68	-0.70	-0.80	-0.89	-1.02	-1.15	-1.21	-1.18	-1.12	-1.08	-0.92
FE300 - 2.3 mm	-0.68	-0.87	-0.92	-0.98	-1.17	-1.30	-1.36	-1.44	-1.84	-2.32	-3.64
GR150 - 2.8 mm	-0.68	-0.78	-0.93	-0.94	-1.02	-1.22	-1.33	-1.48	-1.58	-1.70	-1.86
GR300 - 2.6 mm	-0.73	-1.07	-1.20	-1.27	-1.39	-1.50	-1.60	-1.80	-1.87	-1.97	-2.13
TN150 - 3.0 mm	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	-0.13	-0.15	-0.19	-0.25	-0.28	-0.32	-0.39
TN300 - 2.8 mm	-0.09	-0.10	-0.12	-0.15	-0.18	-0.19	-0.21	-0.31	-0.35	-0.39	-0.46

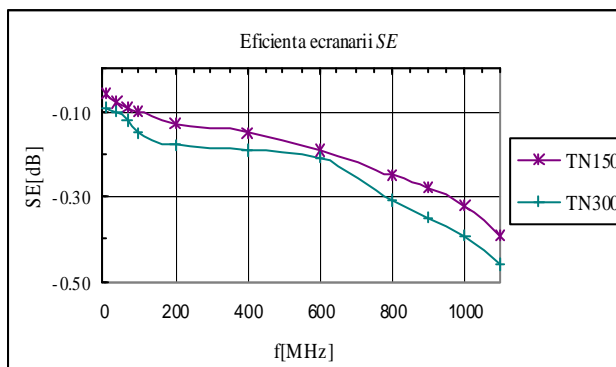


Figura 5. Graficul de variație al eficienței ecranării *SE* pentru materialele TN150 de 3,0 mm și TN300 de 2,8 mm

Figure 5. Variation of shielding effectiveness *SE* for TN150 3.0 mm and TN300 2.8 mm samples

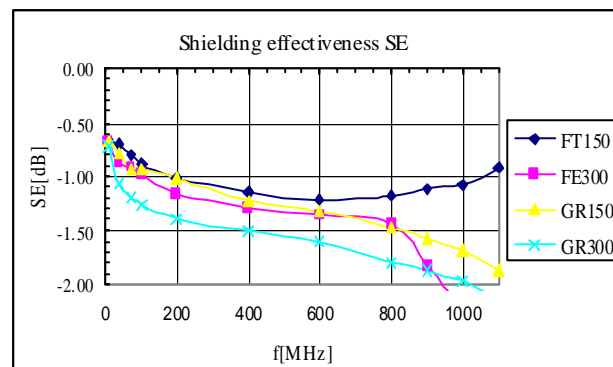


Figura 6. Graficul de variație al eficienței ecranării *ES* pentru materiale de tipul FT150 de 3,0 mm, FE300 de 2,3 mm, GR150 de 2,8 mm și GR300 de 2,6 mm

Figure 6. Variation of shielding effectiveness *SE* for FT150 3.0 mm, FE300 2.3 mm, GR150 2.8 mm and GR300 2.6 mm samples

References

1. ***: CENELEC Guide n^o 24, *Electromagnetic Compatibility (EMC) Standardization for Product Committees*. July 2001
2. ***: CENELEC Guide n^o 25, *Guide on the use of Standards for the implementation of the EMC Directive*. July 2001
3. White, D.R.J.: *Electromagnetic Shielding Materials and Properties*. Don White Consultants, Inc., Virginia, USA, 1980
4. Lojewski, G.: *Microunde. Dispozitive și circuite (Microwaves. Devices and circuits)*. Editura Teora, Bucharest, Romania, 1995 (in Romanian)
5. Ogrutan, P., Aciu, L.E.: *Compatibilitate Electromagnetică. Aplicații (Electromagnetic compatibility. Applications)*. Transilvania University Press, Brasov, Romania, 2006
6. Badic, M., Marinescu, M.L.: *Reflection loss in the case of plane waves impact on infinite absorbing slab*. 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, p. 626- 629, vol. 2, 18-22 August 2003, Boston, MA, USA, ISBN: 0-7803-7835-0
7. Țebeanu, T.: *Dispozitive și circuite pentru microunde (Devices and microwave circuits)*. Universitatea "Politehnica", Bucharest, 2004
8. Ogruțan, P., Aciu, L.E., Nicolae, G.: *A SPICE Model to Evaluate Shielding Effectiveness of Conductive Materials*. The XVII International Conference on Electromagnetic Disturbances 2007, Poland, ISBN 978-83-60200-37-7, p. 10.6-1, 10.6-4

Lucrare primită în Februarie 2009

Received in February 2009