

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei**  
**Abstract of PhD Thesis**

**Barkhausen-zaj vizsgálata fémüvegszalagokban**  
**Investigation of Barkhausen noise in metallic glass ribbons**

Eszenyi Gergely  
Témavezető/Supervisor: Dr. Beke Dezső



Debreceni Egyetem, Fizikai Tudományok Doktori Iskolája  
University of Debrecen, PhD School in Physics  
Debrecen, 2014.

**Készült**  
a Debreceni Egyetem  
Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának  
Szilárdtestfizika és anyagtudomány programja keretében

**Prepared at**  
the University of Debrecen  
PhD School in Physics

## **Bevezetés**

A Barkhausen-zaj mérése széleskörű ipari felhasználása miatt, valamint - a modern zajanalízis egyik fontos alapjelenségeként - alapkutatói szempontból is érdekes és hasznos. A mérnöki gyakorlatban, például acélötvözetek szerkezeti tulajdonságainak nyomonkövetésére használják, a tudományos kutatásokban pedig önszerveződő folyamatok jellemzőinek tanulmányozásában érdekes. Ez utóbbiak közé tartozik a Barkhausen-zaj csúcsok paramétereinek (amplitúdó, terület, szélesség) eloszlását leíró ún. kritikus vagy más néven skálakitevők kísérleti és elméleti meghatározása.

A fémüvegtípusú anyagok mágneses tulajdonságai és belső szerkezete között fennálló kapcsolat vizsgálata alapvető fontosságú mind az alapkutatói, mind a felhasználás szempontjából. Az amorf illetve amorf nanokompozit anyagok kiváló lágymágneses tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen belül is az ún. FINEMET-típusú (speciálisan hőkezelt FeSiBCuNb összetételű ötvözet) anyagok azok, amelyek ún. szuper lágymágneses tulajdonságokat mutatnak (akár  $10^6$  permeabilitás, extrém kis koercitív tér). Ezeket az anyagokat részben kiváló lágymágneses tulajdonságaik miatt, részben a mágneses tulajdonságok hőkezeléssel történő kontrolálhatósága miatt, speciális eszközökön, például árammérőkbe szánt DC-toleráns transzformátorokban, fojtótekercecsekben, hibaáram kapcsolókban, stb. alkalmazzák. Jelenlegi gyártástechnológiájukban a szerkezeti és mágneses jellemzők hőkezelés hatására történő megváltozásának kontrolálása alapvető fontosságú.

## **Célkitűzés**

Az irodalomban számos publikáció foglalkozik kristályos, amorf, amorf nanokristályos (nanokompozit) FeSi struktúrák Barkhausen-zaj vizsgálatával. Több publikáció is található, melyek a mérési metodika részleteit taglalják. Ugyanakkor nem található olyan közlemény, mely kimondottan egy, az iparban használt lágymágneses anyagon követné nyomon Barkhausen-zaj mérés segítségével a végtermék előállításának folyamatát, vizsgálva így módon a Barkhausen-zaj mérésnek a mindennapi ipari gyakorlatban minősítés céljából való használati lehetőségét. Vizsgálataimat amorf, ill. amorf nanokristályos kompozit anyagokon végeztem. Doktori munkám során célul tűztem ki annak vizsgálatát, hogy a Barkhausen-zaj mérés miként használható a hőkezelt fémüvegszalagok tulajdonságainak nyomon követésére, s ez által ipari minőségjellemzésre, továbbá, hogy milyen új, az alapkutatói szempontjából is érdekes információt kaphatok fémüvegszalagok esetében ezzel a mérési technikával. Célkitűzéseimet az alábbi főbb pontokba szedve ismertetem:

1. Amorf, ill. amorf nanokristályos kompozit szalagokon Barkhausen-zaj mérések elvégzése, a különböző csúcsparaméterek eloszlásfüggvényeire jellemző exponensek meghatározása. Korreláció keresés az ipari gyakorlatban mért paraméterekkel.

2. A tanszéken rendelkezésre álló mérőrendszer (mérési metodika) fejlesztése.

2.1 Az irodalomban amorf FeSiBCuNb anyagokon közölt csúcsterület- és csúcshossz-exponensek összevetése az általam hasonló struktúrán mért exponensekkel.

2.2 Új, a minősítés szempontjából alkalmas fizikai paraméter keresése.

3. A Barkhausen-zaj vizsgálatok kiterjesztése a mágnesezési görbe különböző pontjaira fémüvegszalagokra.

## **Eredmények**

1. Hőkezelt FINEMET-típusú amorf nanokompozit szalagok permeabilitását, hőmérsékleti és mechanikai érzékenységét ipari körülmények között mérték. Ezen paraméterek és az általam mért csúcsterület ( $A$ ) és csúcshossz ( $E$ ) eloszlások Barkhausen-zaj paraméterei között sikerült korrelációt kimutatnom. A zajparaméterek eloszlás függvényei  $P(x)$  jól illeszthetők a  $P(x) \sim x^{-\alpha}$  hatványfüggvénnyel, összhangban a dinamikus kritikusság elméletével.

2. A zaj frekvenciaeloszlás-sűrűségfüggvénye állandó mágnesezési sebesség mellett, határozott változást mutat a szalagok nanostruktúrájának változása függvényében. A frekvenciaeloszlás-sűrűségfüggvénye korrelációt mutat a mechanikai érzékenységgel, amely hasonló az egy gerjesztési ciklusra jutó teljes disszipált Barkhausen-zaj energia és a mechanikai érzékenység között tapasztaltnak.

3. Vizsgálatainkat kiterjesztettük a mágnesezési görbe különböző pontjaira  $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{15}\text{Nb}_3\text{B}_6\text{Cu}_1$  FINEMET-típusú amorf fémüvegszalagokra is. A mágnesezési görbe mentén negatív telítéstől pozitív telítésig haladva (és fordítva), állandó, alacsony mágnesezési sebesség mellett, egy szűk indukciós ablakban mérve,  $\text{Fe}(75)\text{Si}(15)\text{Nb}(3)\text{B}(6)\text{Cu}(1)$  FINEMET-típusú amorf fémüvegszalagokon a következő eredményeket kaptuk:

3.1 Polikristályos  $\text{Fe}(\text{Si})$  lemezekon végzett hasonló mérések eredményeivel összhangban a zajteljesítmény a mágneses indukció

függvényében  $B=0$  körül széles minimumot és a mágnesezési görbe könyökpontjai körül két élesebb csúcsot mutatott. Ez a lágymágneses anyagok általános tulajdonsága lehet.

**3.2** A Barkhausen-zaj teljesítmény mindig nagyobb új domének létrejöttékor (azoknál a könyökpontoknál, ahol a mágneses szerkezet multi-doménszerkezetbe alakul át) és kisebb a szorosan orientált domének eltűnésekor (a mágnesezési görbe mentén telítéstől telítésig haladva a második könyökpontnál).

**3.3** A csúcsok csúcshélesség, csúcsterület és csúcenergia paramétereinek valószínűségi eloszlásai, a mágnesezési görbe fél ága mentén telítéstől telítésig haladva egy szűk gerjesztési intervallum mellett, jól leírhatók a  $P(x) \sim x^{-\alpha}$  hatványfüggvénnyel messze a  $B=0$  ponttól is. Ezeknek a kitevőknek az értékei határozott  $B$  függést mutatnak, a zajteljesítmény  $B$  függésének jellegét tükrözve.

## **Introduction**

The investigation of Barkhausen noise is interesting and useful because of its wide industrial applications and also because of fundamental research questions related to the modern noise analysis. For example in the engineering practice this technique is used to characterize the structural properties of different ferromagnetic steels as well as it is also used in the basic research on driven disordered processes. The experimental and theoretical determination of the so called critical or scale exponents, describing the distribution of Barkhausen noise peak parameters (amplitude, area, width) is a good example for the latter activity.

The investigation of the connection between the magnetic properties and the structure of materials made from metallic glasses (amorphous/nanocrystalline composites) is important both for basic research and for applications too. The amorphous and amorphous nanocomposite materials have excellent soft magnetic properties. The so called FINEMET-type materials (specially annealed FeSiBCuNb alloys) show superior soft magnetic properties (above  $10^6$  permeability, extreme small coercitive field). These materials, because of their excellent soft magnetic properties and because of the controllability of magnetic properties by annealing, are used in special devices, i.e. ground fault current circuit breakers, chokes, filters, DC tolerant transformers, etc. Thus in the actual preparation technology the control of structural and magnetic properties after by annealing is extremely important

## **Aims**

Numerous publications in the literature deal with the Barkhausen noise investigations of crystalline, amorphous and amorphous nanocrystalline (nanocomposite) FeSi structures. There are also publications discussing the details of different measuring methods, but it is hard to find works related to the direct control of the processing details by Barkhausen noise i.e. about the investigation of its possible application for the characterization of the end products in the everyday industrial practice. My investigations were made on amorphous and amorphous-nanocrystalline composite materials. The aim of my Phd work was to investigate, how the Barkhausen noise measurement could be used to characterize annealed metallic glasses and make appropriate for industrial characterization. Furthermore, I intended to search for new, interesting information from the point of view of basic research on these metallic glasses. The most important goals were as follows:

1. Barkhausen noise measurements on amorphous and amorphous nanocrystalline composite ribbons to determine the exponents of probability

distribution function of different peak parameters. Searching for correlation with the parameters measured in the industrial practice.

2. Development of the measuring equipment (measuring method) available at the department.

2.1 Comparison the exponents of the peak area and peak width obtained on amorphous FeSiBCuNb structure with exponents published in the literature on similar structures.

2.2 Looking for a new physical parameter, suitable for structure characterization.

3. Extending the Barkhausen noise investigations for the whole magnetization loop by measuring the noise around different points of the magnetization curve within a narrow observation window.

## **Results**

1. The permeability, temperature and mechanical sensitivity of annealed FINEMET-type amorphous nanocomposite ribbons were measured by the industrial partner. It is succeeded to find correlation between these parameters and the measured Barkhausen noise parameters, peak area (A) and peak energy (E). The probability distribution functions of the noise parameters agreed well with the theory of dynamical criticality i.e. they satisfied the  $P(x) \sim x^{-a}$  power law.

2. The power spectrum, obtained by measuring the Barkhausen noise at constant magnetization rate, shows a definite dependence of the nanostructure of the ribbons i.e. the power spectrum correlates with the mechanical sensitivity. This correlation is similar to the connection between the full dissipated Barkhausen noise energy of one excitation cycle and the mechanical sensitivity.

3. The systematic changes of the different scale exponents, describing the Barkhausen noise, as the function of the workpoint of the induction, were measured in relatively narrow window at a constant magnetic induction rate in Fe<sub>75</sub>Si<sub>15</sub>Nb<sub>3</sub>B<sub>6</sub>Cu<sub>1</sub> FINEMET-type metallic glass. The following results were obtained:

3.1 The noise power, as the function of the induction  $B$ , showed a wide minimum around  $B=0$  and two sharper peaks around the knees of the magnetization loop. This, together with the literature data on polycrystalline FeSi sheets, illustrates that this can be a quite general feature of soft magnetic materials.

**3.2** The noise power was always larger for the creation of new domains (at the knees belonging to the change of the magnetic structure from saturation to multi domain structure) and had a much more moderate peak due to disappearance of closely oriented domains (from saturation to saturation at the second knee).

**3.3** The probability frequency of the duration, area and energy of the peaks, traversing the half-loop of the magnetization curve from saturation to saturation with a narrow interval of excitation, can also be described by a power function far from the  $B=0$  point too. The values of these exponents show a definite  $B$  dependence reflecting the character of the  $B$  dependence of the noise power.



**Az értekezés témakörében megjelent közlemények/Publications related to the dissertation:**

[1] **G. Eszenyi**, S. Szabó, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, Z. Erdélyi, D.L. Beke: Correlation between Barkhausen noise and mechanical sensitivity in FINEMET-type materials, J. Mater. Res., 24, No. 1, (2009) 130-134, Impact factor: 1.667

[2] **G. Eszenyi**, A. Bükki-Deme, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, Z. Erdélyi, D.L. Beke, I.A. Szabó: Spectral density of Barkhausen noise in FINEMET-type materials, J. Magn. Mater. 322, (2010) 322-325, Impact factor: 1.689

[3] L. Daróczi, **G. Eszenyi**, Zs. Molnár, D. L. Beke, A. Bükki-Deme; F. Zámorszky: Effect of excitation parameters on the Barkhausen noise in FINEMET-type amorphous ribbons, elfogadva/accepted - Mater. Trans. (No.M2013458)

[4] Harasztosi Lajos, Szabó István, Daróczi Lajos, Szabó Sándor, Erdélyi Zoltán, Balogh Zoltán, **Eszenyi Gergely**, Mojzes Imre, Beke Dezső: Részletes zaj-analízis előnyei Barkhausen-zaj mérések alkalmazásaiban, Anyagvizsgálók lapja (2006/4) 144-148, Impact factor: 0

## **Konferencia közlemények/Conference proceedings:**

[1] **G. Eszenyi**, S. Szabó, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, Z. Erdélyi, D. L. Beke, Barkhausen-noise and mechanical sensitivity in FINEMET-type materials, Journal of ELECTRICAL ENGINEERING 59, NO 7/s, (2008) 66-69, Impact factor: 0

## **Poszterek/Posters:**

[1] **G. Eszenyi**, S. Szabó, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, D. L. Beke: Barkhausen-noise measurements on industrial FINEMET-type materials - V. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese, 2007

[2] **G. Eszenyi**, S. Szabó, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, D. L. Beke: Barkhausen-noise and mechanical sensitivity in FINEMET-type materials - Magnetic Measurements 2008 Conference, Budapest, 2008

[3] **G. Eszenyi**, L. Harasztosi, F. Zámorszky, J. Nyéki, Z. Erdélyi, D.L. Beke: Effect of thickness on spectral density of Barkhusen noise in amorphous Fe-based and Ni ribbons - VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, Budapest, 2009

## **Nem az értekezés témakörében megjelent konferencia poszter/ Posters not connected to the thesis:**

[1] Káli György, Sánta Zsombor, **Eszenyi Gergely**, Rosta László: Nagy felbontású repülési idő neutron-diffraktometria (TOF-ND) alkalmazási lehetőségei archeometallurgiai vizsgálatokban - Régészeti konferencia, Budapest, 2011