

Short thesis for the degree of doctor of philosophy  
(PhD)

**Investigation of noisy character of thermally  
and stress induced phase transformations by  
acoustic emission in  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  shape  
memory single crystals**

by

**Sarah Mahmoud Mohamed Kamel**

Supervisor:

**Prof. Dr. Dezső L. Beke**



UNIVERSITY OF DEBRECEN  
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2024



# Introduction and aims

Shape Memory Alloys, SMAs, form a class of smart materials that can remember their original shape after deforming under an external stimulus, like stress, thermal, magnetic or electric ( $\sigma$ ,  $T$ ,  $\mathbb{B}$ ,  $\mathbb{E}$ ) fields. The properties of SMAs arise from the martensitic transformation, MT, between two solid phases in a diffusionless manner or from the rearrangement of martensite variants.

During structural changes (SCs), SMAs usually absorb/release energy by undergoing a reversible hysteretic shape change. The hysteresis is the key characteristics of many properties in SMAs including: super-plasticity, super-elasticity, rubber-like behavior, elasto-caloric and magneto-caloric effects. These properties have made them important in many technical applications including medical implants, sensors, robotic muscles, electric and thermal actuators.

The stress induced reversible transformation (super-elasticity) is one of the most frequently used property of shape memory alloys (two-way shape memory effect). Increasing the stress (loading) in austenitic state, at a certain stress level, the transformation to martensite starts and takes place until the transformation is finished, which results in a plateau with positive slope on the stress-strain curves, and the unloading leads to a closed hysteresis loop. Below a certain temperature, after removing the stress, the sample

remains in martensitic state and turns back to austenite only by thermally induced reverse transformation (i.e. by increasing the temperature). In some cases it was observed that, instead of having a smooth stress-strain plateau, stress jumps on the loading and unloading stress-strain curves appeared and, at the thermally induced recovery, had a burst-like transformation by about 2-4 orders of magnitude faster transition than the normal thermally induced one and often accompanied with jumping of the sample and an audible click was heard. Understanding of these phenomena is still far not complete and for better understanding of the dynamics of these behaviors,  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  single crystals were selected as a new type of promising ferromagnetic and high temperature SMAs. These, as compared to the well-studied  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  alloy, are less brittle and by changing the Co content the mechanical and magnetic properties can be finely tuned.

Structural changes (SCs) in SMAs proceed through a sequence of small discontinuous jumps between local stable states: this due to the discontinuous nucleation events and to intermittent motion of A/M interfaces and/or twin boundaries. Under slowly changing external driving field, these usually lead to emission of different acoustic, thermal or (in case of ferromagnetic SMAs) magnetic, noise signals. The emitted noise signals consists of the so called avalanches. It is well-known that temporal shapes

of avalanches,  $V(t)$  ( $V$  is the detected voltage signal,  $t$  is the time), have self-similar behavior. It was theoretically predicted that the normalized  $V(t)$  function (e.g. dividing both the values of  $V$  and  $t$  by  $S^{\frac{1}{2}}$ , where  $S$  is the area of the avalanche), averaged for fixed  $S$ , should be the same, for the same avalanche mechanisms. However, there are experimental evidences that the average temporal shape of avalanches do not scale completely in a universal way. Furthermore, self-similarity of the crackling noise implies scaling relations between avalanche parameters: amplitude,  $A$ , duration,  $D$ , size,  $S = \int_0^D V(t)dt$ , and energy,  $E \propto \int_0^D V^2(t)dt$ , were  $E \propto A^{\frac{2\gamma-1}{\gamma-1}}$  and  $S \propto A^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$ . According to the main field theory, MFT,  $\gamma = 2$ . In addition to the problem of universal scaling of the temporal avalanche shapes, the above exponents obtained from acoustic emission, AE, experiments contradicted to the theoretical predictions leading to the so-called AE enigma (e.g. the power relation between  $E$  and  $A$  led to  $E \propto A^2$  instead of  $E \propto A^3$ , predicted from the MFT. Thus, part of my theses is devoted to this problem.

# Experimental Methods

Differential scanning calorimeter, was used for the measurement of the heat released/absorbed during MT at driving rate 10K/min. The entropy of the transformation as well as the hysteresis loops were also calculated.

Simultaneous DSC and AE measurements were carried out using a modified DSC device with a homemade accessory. A piezoelectric microphone was used, which was coupled to a steel waveguide, of 15mm length, in order to provide thermal isolation from the sample when its temperature was widely varied.

Simultaneous measurements of AE and stress-strain curves were implemented by using Instron testing machine 4465, modified with a new home-made steel anvil for compression experiment. The piezoelectric microphone was fixed to the top steel pushing head. This was because of the small dimension of the sample, and to provide an isolation for the microphone at different temperature.

The piezoelectric microphone was connected to Sensophone AED 404 Acoustic Emission Diagnostic Equipment (Geréb and Co.,Ltd.,Budapest, Hungary). It controls the signal, preforms the data acquisition and analyses the AE signal.

# Results

## A) Energy-amplitude and size-amplitude enigma for AE for thermally induced MT in $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ single crystals:

1.1. It is shown that in the theoretically predicted temporal shape of acoustic emission avalanches averaged at fixed area

$$V(t) = ate^{-\left(\frac{t}{\tau_s}\right)^2} \quad (\text{S1})$$

( $\tau_s$  and  $a$  non-universal, material-dependent constants), the maximum amplitude  $A_m$  is proportional to  $t_m$  (the rising time,  $t_m \sim \tau_s$ ) and they are interrelated assuming a power relation,  $\frac{A_m}{t_m} (\sim a) \sim A_m^\varphi$ , i.e.

$$t_m \sim A_m^{1-\varphi} \quad (\text{S2})$$

The above conjecture is supported by the self-similarity of crackling noises, which suggests a power relation between different parameters [P1].

1.2. The validity of (S2) was demonstrated by my experimental results obtained from acoustic emission for thermally induced martensitic transformation in  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  shape memory single crystal during heating and  $\varphi = 0.6$  was obtained. The same analysis

provided same value for  $\varphi$  from data measured earlier by N. Samy et al. in our group on  $\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.6}\text{In}_{13.4}$  single crystal [P1].

1.3. On the basis of (S2) it was also shown that the well-known scaling relations between the area and  $A_m$  as well as between  $A_m$  and the energy of acoustic emission signals have the form

$$S \sim A_m^{2-\varphi} \quad (\text{S3})$$

and

$$E \sim A_m^{3-\varphi} \quad (\text{S4})$$

(S3) and (S4) give back the power exponents predicted by the mean field theory (and assuming no distortion of the measured parameters by signal transfer problems) only if  $\varphi = 0$ , while the “enigma of acoustic emission” known in the literature is obtained with  $\varphi = 1$  [P1]. Exponents obtained from relations (S3) and (S4) were in reasonable agreement with each other and with  $\varphi$  values obtained from (S2) and provided an average value  $\varphi \cong 0.74 \pm 0.13$  [P1].

1.4. Using the average value of  $\varphi$  the voltage and the time scales of the  $V(t)$  function were normalized by  $A_m$  and  $A_m^{1-\varphi}$ , and the obtained averaged curves for different

constant values of area,  $S$ , collapsed nicely on each other providing good universal behaviour [P1].

**B) Results on the anomalous stress-strain curves upon compression of  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  single crystals:**

Anomalous stress-strain loops, with stress drops/jumps, under compression along  $[011]_A$  direction in  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  shape memory single crystals, were investigated by simultaneous acoustic emission, AE, measurements.

2.1. For loading the gradually increased AE activity well below the maximum on the  $\sigma$  versus  $t$  function can be attributed to the nucleation of the twinned martensite. The two stress drops were attributed to the subsequent nucleation of the detwinned (more stable) martensite from the twinned martensite [P2, P3].

2.2. The sharp decrease of the AE activity just at the stress drops indicates that the formation of the detwinned modification is a sudden, fast process and can take place without significant elastic energy storage. This is supported by the fact that during burst like thermal recovery the width of the transition is very small [P3].

2.3. The final detwinned martensite, obtained below a certain deformation temperature, was stable even after unloading: during heating it showed a burst-like recovery, at about 35K higher transformation temperature than that of the thermally induced one, with an audible click [P3].

2.4. For unloading the first part shows a moderate deviation of the stress versus time curve from the linear (elastic) regime and the observed acoustic activity in this region presumably belongs to nucleation of small amount of the twinned martensite (i.e. to partial retwinning). At all stress jumps there are local maxima on the AE activity curve. These were interpreted by sudden dissolution of the detwinned phase (retwinning) [P2, P3].

2.5. In all cases the probability density distributions of parameters of AE avalanches followed the usual (power law) behavior and e.g. the energy exponents were the same within the error bars for thermally or stress induced transformations in both directions [P3].

## **Publications**

### **1- Publication related to the dissertation**

**P1. Kamel, S. M.**, Samy, N. M., Tóth, L. Z., Daróczy, L., & Beke, D. L. (2022). Denouement of the energy-amplitude and size-amplitude enigma for acoustic-emission investigations of materials. *Materials*, 15(13), 4556. <https://doi.org/10.3390/ma15134556>

**P2. Beke, D. L., Kamel, S. M.**, Daróczy, L., & Tóth, L. Z. (2022). Thermodynamic Analysis of Anomalous Shape of Stress–Strain Curves for Shape Memory Alloys. *Materials*, 15(24), 9010. <https://doi.org/10.3390/ma15249010>

**P3. Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumljakov, Y. I., Samy, N. M., & Beke, D. L. (2023). Acoustic emission and DSC investigations of anomalous stress-strain curves and burst like shape recovery of Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> shape memory single crystals. *Intermetallics*, 159, 107932. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107932>

### **2- Other publications**

**P4. Daróczy, L., Kamel, S. M.**, Tahara, M., Chernenko, V., Hosoda, H., Tóth, L. Z., & Beke, D. L. (2024). Acoustic emission during approaching the critical point on stress-temperature diagram of martensitic transformation in Ni<sub>48</sub>Fe<sub>20</sub>Co<sub>5</sub>Ga<sub>27</sub> (at.%) single

crystal. Intermetallics, 173, 108432.

<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2024.108432>

**P5. Kamel, S.M.**, Daróczi, L., Tóth, L.Z., Beke, D.L., Juárez, G.G., Cobo, S., Salmon, L., Molnár, G. and Bousseksou, A. (2024). Acoustic emissions from spin crossover complexes. Journal of Materials Chemistry C, 12(16), 5757-5765.

<https://doi.org/10.1039/d4tc00495g>

**P6. Medhat, M., El-Zaiat, S.Y., Omar, M.F., Farag, S.S. and Kamel, S.M.** (2017). Refraction and dispersion measurement using dispersive Michelson interferometer. Optics Communications, 393, 275-283.

<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.02.039>

### **3 - Conferences**

#### **Presentations**

**C1. Kamel S.M.**, Daróczi L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., N.M. Samy, Beke D.L. Acoustic emission during anomalous stress strain curve along [011] in Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> shape memory single crystal. Proceedings of the 13th European Symposium on Martensitic Transformations; Lecco, Italy. 26-30 August 2024.

**C2. Kamel S.M.**, Daróczi L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., Beke D.L. Anomalous Stress-Strain Curve of Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub> Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> Shape Memory Single Crystal:

Burst like recovery during heating, 15-min talk,  
DoffI\_2021. September 16-18 (meeting of PhD students).

## **Posters**

**C3. Kamel S.M.**, Daróczy L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., Beke D.L. Burst like recovery of  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  shape memory single crystal after compressive stress-strain loading. In: Kockar B., Gortan M.O., editors. Proceedings of the 12th European Symposium on Martensitic Transformations; Ankara, Turkey. 5–9 September 2022; Ankara, Turkey: Hacettepe University; pp. 88–89.



Registry number: DEENK/374/2024.PL  
Subject: PhD Publication List

Candidate: Sarah M. Kamel  
Doctoral School: Doctoral School of Physics

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Mohareb, N. S., Beke, D. L.: Acoustic emission and DSC investigations of anomalous stress-strain curves and burst like shape recovery of Ni49Fe18Ga27Co6 shape memory single crystals.  
*Intermetallics*. 159, 1-13, 2023. ISSN: 0966-9795.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107932>  
IF: 4.4 (2022)
2. **Kamel, S. M.**, Mohareb, N. S., Tóth, L. Z., Daróczy, L., Beke, D. L.: Denouement of the Energy-Amplitude and Size-Amplitude Enigma for Acoustic-Emission Investigations of Materials.  
*Materials*. 15 (13), 1-18, 2022. EISSN: 1996-1944.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ma15134556>  
IF: 3.4
3. Beke, D. L., **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z.: Thermodynamic Analysis of Anomalous Shape of Stress-Strain Curves for Shape Memory Alloys.  
*Materials*. 15 (24), 1-11, 2022. ISSN: 1996-1944.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ma15249010>  
IF: 3.4

### List of other publications

#### Foreign language scientific articles in international journals (2)

4. **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Beke, D. L., Juárez, G. G., Cobo, S., Salmoán, L., Mohareb, G., Bousseksou, A.: Acoustic emissions from spin crossover complexes.  
*J. Mater. Chem. C*. 12 (16), 5757-5765, 2024. ISSN: 2050-7526.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/D4TC00495G>  
IF: 6.4 (2022)





UNIVERSITY of  
**DEBRECEN**

UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRARY  
UNIVERSITY OF DEBRECEN

H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen  
Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

5. Medhat, M., El-Zaiat, S. Y., Omar, M. F., Farag, S. S., **Kamel, S. M.**: Refraction and dispersion measurement using dispersive Michelson interferometer.  
*Opt. Commun.* 393, 275-283, 2017. ISSN: 0030-4018.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2017.02.039>  
IF: 1.887

**Total IF of journals (all publications): 19,487**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 11,2**

The Candidate's publication data submitted to the IDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

18 June, 2024



# Bevezetés és a vizsgálatok célja

Az alak-emlékező ötvözetek (AEÖ) az “okos anyagok” egy olyan csoportját alkotják, amelyek emlékezni tudnak eredeti alakjukra külső tér, feszültség, termikus hatás, mágneses vagy elektromos tér ( $\sigma$ ,  $T$ ,  $\mathbb{B}$ ,  $\mathbb{E}$ ) hatására. Az AEÖk tulajdonságai két szilárd fázis között diffúzió-mentesen lezajló martenzites transzformációból, MT, vagy a martenzit variánsok átrendeződéséből származnak.

Szerkezet-változások során (SzV), az AEÖk rendszerint energiát nyelnek el/bocsátanak ki miközben hiszterézissel járó alakváltozást mutatnak. A hiszterézis az AEÖk sok tulajdonságának fontos jellemzője, mint például a szuper-képlékenység, szuper-rugalmasság, gumi-szerű viselkedés elasztó-kalorikus magneto-kalorikus effektusok. Ezek a tulajdonságok teszik ezeket az anyagokat fontossá sok olyan technikai alkalmazásban, mint az orvosi implantátumok, érzékelők, robot-izmok, elektromos és termikus hatás-közvetítők.

A feszültség indukált reverzibilis transzformáció (szuper-rugalmasság) az alakemlékező ötvözetek egyik leggyakrabban használt tulajdonsága (két-irányú alakemlékező hatás). Növelve a feszültséget (terhelés)

ausztenites állapotban, bizonyos feszültség értéknél, megkezdődik a martenzitbe történő transzformáció és tart mindaddig, amíg az átalakulás befejeződik: ez egy plató eredményez a feszültség-deformáció görbéken és a feszültség megszüntetése zárt hiszterézis görbét eredményez. Bizonyos hőmérséklet alatt, a feszültség megszüntetése után, a minta martenzites állapotban marad és ausztenites állapotba csak termikusan indukált visszatranszformációval (azaz hőmérséklet emelés hatásra) tér vissza. Bizonyos esetekben azt figyelték meg, hogy – folytonos feszültség-deformáció plató helyett – feszültség ugrások jelentek meg a görbén és a termikusan indukált megújulás során ugrás-szerű transzformáció jelent meg, amit 2-4 nagyságrenddel gyorsabb átmenet jellemez, mint a normál termikusan kiváltott átalakulás, és ez gyakran a minta ugrásával és hallható kattanással járt. Ezen jelenségeknek a megértése jelenleg még távolról sem teljes és a viselkedések jobb megértése céljából  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  egykristályokat választottunk, mint új típusú, ígéretes ferromágneses magas hőmérsékleti AEÖ-ket. Ezek az anyagok, a jól ismert és tanulmányozott  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  ötvözetnél kevésbé ridegek és a Co-tartalom változtatásával a mechanikai és mágneses tulajdonságok finoman hangolhatók.

Az AEÖ-kben a szerkezet-változások a lokális stabil állapotok közötti kis, nem folytonos ugrások sorozatán keresztül valósulnak meg: ezek a nem folytonos

nukleációs eseményeknek, illetve az A/M határfelületek ugrásszerű elmozdulásainak tulajdoníthatók. Lassan változó külső tereknél ezek rendszerint különböző, akusztikus, termikus vagy (ferromágneses AEÖ-kben) mágneses zaj jeleket eredményeznek. Az emittált zaj jelek un. lavinákból állnak. Az jól ismert, hogy a lavinák időalakja,  $V(t)$  ( $V$  a detektált feszültség jel,  $t$  az idő) önhasonló viselkedést mutatnak. Elméletileg azt jósolták, hogy a rögzített területre átlagolt, normált  $V(t)$  függvényeknek (például az  $V$  illetve  $t$  tengelyeket  $S^{1/2}$ -el osztva, ahol  $S$  a lavina területe) adott mechanizmus esetén azonosnak kellene lenniük. Azonban a kísérleti tények azt bizonyították, hogy az átlagos időfüggvények nem teljesen univerzálisan skálázódtak össze. Továbbá, a recsegő zajok önhasonlósága skála szabályokat is jelent az amplitúdó,  $A$ , időtartam,  $D$ , a terület  $S = \int_0^D V(t)dt$  és energia  $E \propto \int_0^D V^2(t)dt$ , paraméterek között:  $E \propto A^{\frac{2\gamma-1}{\gamma-1}}$  és  $S \propto A^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$ . Az átlagtér elmélet, ATE, szerint  $\gamma = 2$ . A lavinák időalakjának univerzális skálázódásának problémájához hasonlóan az akusztikus emissziós, AE, mérésekből meghatározott fenti kitevők értékei ellentmondtak az elméleti jóslásnak, ami az un. AE rejtélyhez (enigmához) vezetett (például ez  $E$  és  $A$  közötti hatvány függvény reláció  $E \propto A^2$ -nak adódott az ATE-ből jóslott  $E \propto A^3$  helyett). Így téziséem egy részét ennek a problémának szentelem.

# Kísérleti módszerek

Differenciális pásztázó kalorimétert, DSC, használtam a MT-ók során felszabaduló/elnyelődő hő meghatározására 10 K/perc vezérlési sebességgel. A transzformációs entrópiát és a hiszterézis görbéket is kiszámítottam.

A szimultán DSC és AE méréseket, házilag kiegészítő feltétellel módosított, DSC berendezéssel készítettem. Egy 15mm hosszú, acél hullám-vezetőhöz rögzített piezoelektromos mikrofont használtam, hogy a mintától való jó hőszigetelést biztosítsam, amikor széles tartományban a hőmérsékletet változtattam.

A szimultán végzett AE és feszültség-deformáció görbék mérését Instron-445 berendezéssel végeztem, amelyen házilag készült acél befogót használtam az összenyomás alatt végzett mérésekhez. A piezoelektromos mikrofont a felső acél nyomófejhez rögzítettem. Ez a minta kis mérete miatt volt szükséges és azért, hogy jól hőszigetelje a mikrofont a különböző hőmérsékleteken.

A piezoelektromos mikrofont egy Sensophon AED 404 Acousti Emission Diagnostic Equipment-hez (Geréb és Tsa. Ltd. Budapest Hungary) kapcsoltam. Ez a berendezés kontrollálta az AE jeleket, megvalósította az adatgyűjtést és azok feldolgozását.

# EREDMÉNYEK

## A) AE-ös energia-amplitúdó és terület- amplitúdó enigma rejtély termikusan indukált MT során Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> egykristályokban

1.2. Megmutattuk, hogy az akusztikus emissziós lavinák rögzített terület mellett átlagolt időalakjára elméletileg jószolt időfüggvényben

$$V(t) = ate^{-\left(\frac{t}{\tau_s}\right)^2} \quad (\text{S1})$$

( $\tau_s$  és  $a$  nem unverzális, anyagfüggő konstansok), a maximális amplitúdó,  $A_m$ , arányos  $t_m$ -el (az emelkedési idővel,  $t_m \sim \tau_s$ ) és ezeket egy hatványfüggvény kapcsolja össze,  $\frac{A_m}{t_m} (\sim a) \sim A_m^\varphi$ , azaz

$$t_m \sim A_m^{1-\varphi}. \quad (\text{S2})$$

A fenti feltételezést a recsegő zajok ön-hasonlósága támasztja alá, amely azt sugallja, hogy a különböző paraméterek között hatvány-függvény reláció van [P1].

1.2. (S2) érvényességét Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> alakemlékező egykristályon általam fűtés közben mért termikusan indukált martenzites átalakulás során kapott akusztikus emisszióból kapott kísérleti eredményekkel illusztráltam és  $\varphi = 0.6$  adódott. Ugyan ilyen analízis ugyanezt az

eredmény szolgáltaták  $\varphi$ -re N. Samy és mts. által csoportunkban  $\text{Ni}_{45}\text{Co}_5\text{Mn}_{36.6}\text{In}_{13.4}$  egykristályon mért adatok is [P1].

1.3. (S2) alapján azt is megmutattuk, hogy a jól ismert skála összefüggések az akusztikus emissziós jelek területe,  $S$ , és amplitúdója,  $A_m$ , valamint energiája,  $E$  és amplitúdója között a következő alakúak

$$S \sim A_m^{2-\varphi} \quad (\text{S3})$$

és

$$E \sim A_m^{3-\varphi}. \quad (\text{S4})$$

(S3) és (S4) az átlag tér elmélet szerint jóslott exponenseket (feltételezve azt is, hogy a jelátviteli problémák nem okoznak torzításokat) csak akkor adják vissza, ha  $\varphi = 0$ , míg az irodalomban jól ismert akusztikus emissziós rejtély (“enigma of acoustic emission”)  $\varphi=1$  esetén adódik [P1]. Az (S3) és (S4) összefüggések alapján kapott exponensek jó egyezésben voltak egymással és az (S2) alapján kapott  $\varphi$  értékekkel és  $\varphi \cong 0.74 \pm 0.13$  átlagértéket szolgáltatottak.

1.4. Felhasználva  $\varphi$  átlagértékét az  $V(t)$  függvények feszültség és idő skáláit  $A_m$ -el valamint  $A_m^{1-\varphi}$ -el skálázva, a különböző konstans  $S$  értékekhez tartozó átlagolt görbék

jól egymásra estek jó univerzális viselkedést tükrözve. [P1].

**B) Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> egykristályok összenyomása során kapott anomális feszültség-deformáció görbék során kapott eredmények**

Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> alakemlékező egykristályokon az [011]<sub>A</sub> irány mentén alkalmazott összenyomás során tapasztalt, feszültség eséseket/ ugrásokat is tartalmazó, anomális feszültség-deformáció hurkokat szimultán akusztikus emissziós mérésekkel vizsgáltam

2.1. A  $\sigma(t)$  függvényen terheléskor, jóval a feszültség maximum alatt megfigyelt, fokozatosan növekvő AE aktivitást az ikresedett martenzit nukleációjával lehet azonosítani. A két feszültség esés az ezt követő (stabilabb) iker-mentes martenzitnek az ikresedett martenzitből történő nukleációjának tulajdonítható [P2, P3].

2.2. A feszültségek esések utáni éles AE aktivitás csökkenés azt jelzi, hogy az iker-mentes martenzit módosulat egy hirtelen, gyors folyamat és jelentős rugalmas energia tárolás nélkül történik. Ezt az a tény is megerősíti, hogy az ugrás-szerű termikus megújulás során az átmenet szélessége nagyon kicsi [P3].

2.3. A bizonyos deformációs hőmérséklet alatt kapott iker-mentes martenzit stabil maradt a feszültség elvétele után is: melegítés során ugrás-szerű, hallható kattanással járó vissza-transzformációt mutatott 35 K-el magasabb

hőmérsékletnél, mint ami a termikusan indukált átalakuláshoz tartozik [P3].

2.4. A terhelés csökkentése során a feszültség-idő függvényen moderált eltérések voltak láthatók az eredetileg lineáris (rugalmas) tartományban és a megfigyelt akusztikus aktivitás ebben tartományban az ikresedett matenzit kis mennyiségű nukleációjának (azaz részleges újra ikresedésének) tulajdonítható. Valamennyi feszültség ugrásnál lokális maximumok vannak az AE aktivitás görbéken. Ezeket az ikermentes martenzit hirtelen feloldódásával (újra ikresedéssel) magyaráztam [P2, P3].

2.5. Az AE lavinák paraméterei minden esetben a szokásos (hatvány függvény) viselkedést mutatták és például az energia kitevők hibahatáron belül megegyeztek a termikus, illetve feszültség indukál transzformációkra mindkét irányban [P3].

## Közlemények

### **1- A dizertációhoz kapcsolódó közelmények**

**P1. Kamel, S. M.**, Samy, N. M., Tóth, L. Z., Daróczy, L., & Beke, D. L. (2022). Denouement of the energy-amplitude and size-amplitude enigma for acoustic-emission investigations of materials. *Materials*, 15(13), 4556. <https://doi.org/10.3390/ma15134556>

**P2. Beke, D. L., Kamel, S. M.**, Daróczy, L., & Tóth, L. Z. (2022). Thermodynamic Analysis of Anomalous Shape of Stress–Strain Curves for Shape Memory Alloys. *Materials*, 15(24), 9010. <https://doi.org/10.3390/ma15249010>

**P3. Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumljakov, Y. I., Samy, N. M., & Beke, D. L. (2023). Acoustic emission and DSC investigations of anomalous stress-strain curves and burst like shape recovery of Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> shape memory single crystals. *Intermetallics*, 159, 107932. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107932>

### **2- Egyébb közlemények**

**P4. Daróczy, L., Kamel, S. M.**, Tahara, M., Chernenko, V., Hosoda, H., Tóth, L. Z., & Beke, D. L. (2024). Acoustic emission during approaching the critical point on stress-temperature diagram of martensitic transformation in Ni<sub>48</sub>Fe<sub>20</sub>Co<sub>5</sub>Ga<sub>27</sub> (at.%) single

crystal. Intermetallics, 173, 108432.

<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2024.108432>

**P5. Kamel, S.M.**, Daróczy, L., Tóth, L.Z., Beke, D.L., Juárez, G.G., Cobo, S., Salmon, L., Molnár, G. and Bousseksou, A. (2024). Acoustic emissions from spin crossover complexes. Journal of Materials Chemistry C, 12(16), 5757-5765.

<https://doi.org/10.1039/d4tc00495g>

**P6.** Medhat, M., El-Zaiat, S.Y., Omar, M.F., Farag, S.S. and **Kamel, S.M.** (2017). Refraction and dispersion measurement using dispersive Michelson interferometer. Optics Communications, 393, 275-283.

<https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.02.039>

### **3 -Konferenciák**

#### **Előadások**

**C1. Kamel S.M.**, Daróczy L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., N.M. Samy, Beke D.L. Acoustic emission during anomalous stress strain curve along [011] in Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub>Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> shape memory single crystal. Proceedings of the 13th European Symposium on Martensitic Transformations; Lecco, Italy. 26-30 August 2024.

**C2. Kamel S.M.**, Daróczy L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., Beke D.L. Anomalous Stress-Strain Curve of Ni<sub>49</sub>Fe<sub>18</sub> Ga<sub>27</sub>Co<sub>6</sub> Shape Memory Single Crystal:

Burst like recovery during heating, 15-min talk,  
DoffI\_2021. September 16-18 (meeting of PhD students).

## **Poszterek**

**C3. Kamel S.M.**, Daróczy L., Tóth L.Z., Panchenko E., Chumljakov Y.I., Beke D.L. Burst like recovery of  $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$  shape memory single crystal after compressive stress-strain loading. In: Kockar B., Gortan M.O., editors. Proceedings of the 12th European Symposium on Martensitic Transformations; Ankara, Turkey. 5–9 September 2022; Ankara, Turkey: Hacettepe University; pp. 88–89.



Nyilvántartási szám: DEENK/374/2024.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kamel, Sarah M.  
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10095652

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Mohareb, N. S., Beke, D. L.: Acoustic emission and DSC investigations of anomalous stress-strain curves and burst like shape recovery of Ni49Fe18Ga27Co6 shape memory single crystals.  
*Intermetallics*. 159, 1-13, 2023. ISSN: 0966-9795.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107932>  
IF: 4.4 (2022)
2. **Kamel, S. M.**, Mohareb, N. S., Tóth, L. Z., Daróczy, L., Beke, D. L.: Denouement of the Energy-Amplitude and Size-Amplitude Enigma for Acoustic-Emission Investigations of Materials.  
*Materials*. 15 (13), 1-18, 2022. EISSN: 1996-1944.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ma15134556>  
IF: 3.4
3. Beke, D. L., **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z.: Thermodynamic Analysis of Anomalous Shape of Stress-Strain Curves for Shape Memory Alloys.  
*Materials*. 15 (24), 1-11, 2022. ISSN: 1996-1944.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ma15249010>  
IF: 3.4

### További közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

4. **Kamel, S. M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Beke, D. L., Juárez, G. G., Cobo, S., Salmon, L., Molnár, G., Bousseksou, A.: Acoustic emissions from spin crossover complexes.  
*J. Mater. Chem. C*. 12 (16), 5757-5765, 2024. ISSN: 2050-7526.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/D4TC00495G>  
IF: 6.4 (2022)





**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, PK.: 400  
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

5. Medhat, M., El-Zaiat, S. Y., Omar, M. F., Farag, S. S., **Kamel, S. M.**: Refraction and dispersion measurement using dispersive Michelson interferometer.  
*Opt. Commun.* 393, 275-283, 2017. ISSN: 0030-4018.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2017.02.039>  
IF: 1.887

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 19,487**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 11,2**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetria ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.06.18.

