

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei
Abstract of PhD Thesis

**Fázisátalakulást kísérő zajok vizsgálata
 Ni_2MnGa alakemlékező ötvözetekben**

**Investigation of noises obtained during phase
transformation in Ni_2MnGa shape memory
alloys**

Tóth László Zoltán

Témavezető/Supervisor: Dr. Daróczi Lajos



Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája
University of Debrecen
PhD School in Physics
Debrecen, 2018.

Bevezetés

Napjainkban az alakemlékező ötvözeteket széles körben használják fel kiváló tulajdonságaik miatt. A NiTi ötvözet alakemlékező és szuperelasztikus tulajdonságait számos orvosi eszközben alkalmazzák. Az alakemlékező anyagok szuperképlékeny viselkedését használják ki azok az eszközök, amelyek a földrengések ellen védik a műemlékeket. Ezeken kívül a robotikai és az űrkutatási alkalmazásai is gyakoriak ezeknek az anyagoknak. A ferromágneses alakmemória ötvözetek, mint amilyen az általam vizsgált Ni_2MnGa is, nem csak termikusan, hanem külső mágneses térrel is vezérelhetők, amely gyors szuperplasztikus működést tesz lehetővé. Az eddigi, és a jövőbeli alkalmazási lehetőségek miatt tehát fontos minél teljesebben megérteni az alakemlékezést lehetővé tevő ausztenit/martenzit (At/Mt) átalakulás természetét.

Az At/Mt fázisátalakulás szakaszos jellege miatt a martenzites átalakulást különböző zajmérési technikák segítségével is tanulmányozhatjuk. Az ausztenit/martenzit átalakulás elsőrendű fázisátalakulás, ezért termikus emisszió (TE) mérésére van lehetőség pl. differenciális pásztázó kaloriméter (DSC) segítségével. A szakaszos jelleg miatt akusztikus emissziót (AE) is mérhetünk, valamint ha legalább az egyik fázis ferromágneses, akkor mágneses emissziós (ME) mérések is végezhetők. A

különböző eredetű zajok vizsgálata szintén egy viszonylag új, igen aktívan kutatott terület, és ezek kombinációjával új, egyedi eredményekre tehetünk szert.

Az At/Mt szakaszos jellegét tükröző TE mérések igen ritkák az irodalomban, köszönhetően a mérés lassúságának és a gyenge statisztikának (csak kevés felhasadt termikus csúcs a DSC-ben). A szokásos hűtési/fűtési sebességeknél a DSC spektrum egyetlen burkoló görbével jellemezhető. A spektrum felhasadásához szükséges extrém lassú fűtési/hűtési sebesség miatt a TE mérése eddig nagyon pontos, egyedi eszközök építését igényelte.

Az AE vizsgálatok terjedtek el a legszélesebb körben. Alakemlékező ötvözetek fázisátalakulásaira az AE-val meghatározott kritikus exponensek értékei alapján univerzalitási osztályokba sorolhatjuk az anyagokat. Azonban ez a besorolás nem elég egyértelmű, hiszen egy osztályhoz többféle exponenst is találhatunk az irodalomban, valamint az osztályok közti különbség nem túl nagy. Amint azt látni fogjuk, abba a tartományba esik, mint amekkora aszimmetriát tapasztalhatunk a fűtésben, ill. hűtésben kapott kitevők között.

Alakemlékező ötvözetek fázisátalakulása esetén a ME vizsgálatok a TE mérésekhez hasonlóan szintén ritkák. A mágneses emisszió amplitúdó és energia hatványkitevőire különböző, néha irreálisan nagy értékeket találunk az irodalomban, de még a TE-hoz, vagy az AE-hoz képesti időbeli (hőmérsékletbeli) viszonya sem volt teljesen

tisztázott. Ezért kihasználva a tanszékünk évtizedes tapasztalatát a mágneses zajmérésben, jelentős eredményeket érhetünk el ezen a területen.

Az At/Mt átalakulás zajos természetének vizsgálata tehát igen aktívan kutatott terület, mely a sok megválaszolatlan kérdés miatt számos ígéretes lehetőséget tartogat.

Célok

Munkám során különböző zajmérési technikák alkalmazásával az ausztenit-martenzit fázisátalakulást tanulmányoztam egykristály, ferromágneses Ni_2MnGa mintákon. A kutatásom alapkutatás, mely az At/Mt transzformáció természetének jobb megértésére irányult. A munkám céljai a következők voltak:

- Termikus emissziós mérések lehetőségének vizsgálata hagyományos DSC készülék segítségével.
- A TE-ből és az AE-ből számolt kritikus exponensek összehasonlítása.
- A rendelkezésre álló háromféle Ni_2MnGa minta összehasonlítása.
- Szimultán AE-ME mérésekre alkalmas mérőrendszer összeállítása.

- AE és ME kritikus exponenseinek vizsgálata különböző nagyságú mágneses tér jelenlétében.
- A zajaktivitások időbeli (hőmérsékletbeli) viszonyának tanulmányozása.
- Időbeli korrelációk vizsgálata az egyedi jelek között AE-ra és ME-ra.
- Az időbeli kapcsolat vizsgálata összetartozó AE és ME eseménypárok között.

Eredmények

1. Az irodalomban elsőként megmutattam, hogy hagyományos differenciális pásztázó kaloriméterrel is lehetőség van statisztikai analízisre alkalmas, felhasadt termikus csúcsok detektálására At/Mt átalakulás során. Ennek kulcsa, hogy az egykristály minta felületét szikraforgácsolással felérsítettem, és a DSC készülék által megengedett legalacsonyabb fűtési/hűtési sebességet alkalmaztam. A minta tömegének megválasztása is fontos szempontnak bizonyult. A TE mellett a minta felületének érdesítése megnövelte az AE méréseknél tapasztalható zajaktivitást (eseményszámot) is. Az érdesítés azonban nem befolyásolta az AE kritikus

exponenseit, azok hibahatáron belül ugyanakkorának adódtak a sima és az érdes felületű mintákra is. [A1, P1]

2. Megmutattam, hogy a termikus és akusztikus emisszió hűtés során kapott energia exponensei hibahatáron belül megegyeznek. A gyakorlati alkalmazások szempontjából fontosabb, ferromágneses alakemlékező ötvözetekre ez az első ilyen megfigyelés (korábban csak egy Cu-alapú ötvözetre kaptak ilyen eredményt). A fűtés és hűtés között fennálló aszimmetria miatt fűtésben még érdesítéssel sem tudtam felhasadt termikus csúcsokat megfigyelni. Ez az aszimmetria az akusztikus és mágneses emisszió eseményszámaiban és hatványkitevőiben is jelen volt (külső mágneses tér alkalmazása nélkül). [A1, A2, P1, P2]
3. A rendelkezésre álló háromféle Ni_2MnGa minta (ugyanolyan összetétel, de más martenzit iker szerkezet és ikerhatár mozgékonyosság) között a fázisátalakulás közben mért termikus és akusztikus emisszióból számolt exponensek alapján nem adódtak különbségek. A háromféle minta között csak martenzites állapotban, deformáció indukálta mágneses emisszió mérésével lehetett különbséget tenni. A mért adatok statisztikai analízisével megmutattam, hogy abban a mintában, amelyben könnyen mozgó, ún. II-es típusú ikerhatárok

vannak jelen, a mágneses emisszió energiája kisebb, az amplitúdó és energia exponensek nagyobbak adódtak, mint a másik két minta esetében. [A1, P1, A3]

4. Szimultán végzett TE-AE, valamint szimultán AE-ME mérésekkel megmutattam, hogy a három jelenség zajaktivitásai időbeli/hőmérsékletbeli egyezőséget mutatnak (azaz ugyanazokkal a kezdő- és véghőmérséklettel rendelkeznek). Továbbá a szimultán TE-AE mérések alapján megmutattam, hogy magasabb átalakult martenzit hányadhoz nagyobb akusztikus zajaktivitás tartozik. Ez azzal függhet össze, hogy amikor a különböző martenzit variánsok találkoznak, az AE forrásai (súrlódásos kölcsönhatások, rugalmas energia betárolás/relaxáció) sokkal aktívabbak. Ezeken felül részt vettem a mérésekhez szükséges rendszerek összeállításában is. [A2, P2, T1]
5. Tanulmányoztam az AE, és (az irodalomban elsőként) a ME külső, statikus mágneses tértől való függését is. A lavina amplitúdó és energia exponensei hasonlóan viselkedtek AE és ME esetén is. Kis külső mágneses tér jelenléte mellett hasonlóan nagy aszimmetriát tapasztaltam a fűtésben és hűtésben mért kitevők között, mint a korábbi méréseim alkalmával. 50-100 mT nagyságú mágneses tér jelenlétében azonban a fűtésben kapott kitevők jelentősen csökkentek, és

ettől nagyobb tereknél az eddigi aszimmetria eltűnt, a fűtéshez és hűtéshez tartozó kitevők egyformának adódtak. Ez a megfigyelés annak tulajdonítható, hogy az előbb említett nagyságú mágneses tér már képes rendezni a lehűtésekor kialakuló martenzit variánsokat. A rendezett struktúra multiplicitása kisebb, ez okozhatja a kitevő változását. Továbbá nagy külső tér jelenlétében az AE és ME megfelelő hatványkitevői hibahatáron belül megegyeznek, hasonlóan a TE és AE kitevőihöz. [A2, P2, T1]

6. Tanulmányoztam az egyes zajesemények között fennálló időbeli korrelációt. Elsőként a mágneses és akusztikus mérések alapján meghatároztam az események közti várakozási idők eloszlását. Ez eltért a független eseményekre jellemző Poisson-viselkedéstől, egy-egy hatványfüggvénnyel tudtam illeszteni a kis és a nagy várakozási idők tartományában is. A várakozási idők segítségével továbbá vizsgáltam, hogy a zajaktivitás mennyire csomós. Egy megfelelően megválasztott várakozási idő limit alapján csomagokra bontottam a zajspektrumot, melyek eseményszámainak eloszlása $((P(n; \tau_m))$ független zajeseményekre exponenciális függvénnyel illeszthető. Az általam kísérleti úton meghatározott $P(n; \tau_m)$ eloszlások azonban hatványfüggvény szerinti eloszlást követtek, ezzel

bizonyítva, hogy a zajaktivitás nem véletlenszerű, hanem csomós, az események között időbeli korreláció van. Hasonló megfigyelésekre jutottam mágneses tér által kiváltott ikerhatár mozgás közben detektált AE és ME adatainak elemzése során is. Ez utóbbi esetben a korrelációt megerősítettem, megmutattam, hogy az adatok véletlenszerű összekeverésével a csomósodás megszűnik. (Ebben a közleményben társszerző voltam). Fontos eredmény, hogy az előbb említett eloszlások a kétféle emisszióra, illetve fűtésre és hűtésre egybeskálázódtak, bizonyítva ezzel ezen függvények univerzális jellegét. [A2, A4, P2, T1, T2]

7. A szimultán végzett AE-ME mérések segítségével tanulmányoztam az összetartozó AE és ME eseménypárok között fennálló kapcsolatot is. Az eseménypárok közti időkéseket tanulmányozva megmutattam, hogy a 10-100 μ s tartományban sokkal valószínűbb az, hogy egy akusztikus eseményt egy mágneses lavina követ, mint a fordított eset. Ez a különbség sokkal jelentősebb (három nagyságrendnyi különbség a valószínűségek között), ha nagy külső mágneses tér jelenlétében végezzük a mérést. Ez az eredmény tekinthető a legpontosabbnak és legmegbízhatóbbnak az irodalomban (mindössze egy korábbi közlemény létezik) és megfelel az előzetes várakozásainknak, miszerint az AE-t

kiváltó strukturális átalakulás az elsődleges effektus, a mágneses domén szerkezet átrendeződése pedig ennek a következménye. [A2, P2, T1, T2]

Introduction

Nowadays the shape memory alloys (SMAs) are widely used in different applications because of their excellent properties. For example NiTi alloys are employed in medical applications taking advantage of the shape memory effect and superelasticity. The superplastic behaviour is used in earthquake protection applications. The SMAs can also be used as actuators in robotics and in the aerospace industry. Furthermore, ferromagnetic SMAs, like Ni_2MnGa can also be controlled by the application of external magnetic field and thus we can reach relatively large and fast superplastic deformation. Therefore, it is very important to understand the nature of the austenite/martensite (At/Mt) transformation, which is the basic mechanism for providing SM behaviour.

Due to the jerky character of the first order At/Mt transition one can detect thermal and acoustic emission. If at least one of the austenite or martensite phases is ferromagnetic, there are magnetic emission signals, too. Noise measurements are good methods to study the austenite/martensite (At/Mt) transformation and thus the behaviour of the SMAs. Combination of these with the traditional methods for At/Mt transformations can provide new, unique results.

Thermal emission (TE) measurements, which demonstrate the jerky behaviour of the At/Mt transformation (e.g. by differential scanning calorimeter, DSC) are very rare in the

literature, because of long measurement time and bad statistics (low number of the individual peaks) of these measurements. Applying usual heating/cooling rates the DSC spectra consists of only one peak. In order to split it into individual events unusually low heating/cooling rates are necessary, which required very accurate, unique devices.

Investigation of acoustic emission (AE) avalanches is the most widespread method for the investigation of SMAs. Based on the critical exponents of the avalanche amplitude or energy distributions one can classify the At/Mt transformation in these materials into universality classes. Nevertheless, the experimental verification of this classification is not unambiguous, there are different exponents for each class in the literature, and the difference between the universality classes is too small, comparable with the asymmetry in the exponents for heating and cooling.

Magnetic emission measurements during the At/Mt phase transition are also rare. Even the temporal (or thermal) relationship with the TE or AE was unclear. Furthermore, there were very different (average and extremely high) exponents obtained for ME (at $B \approx 0$ T) in the literature. Therefore, based on our many years of experience in magnetic noise measurements it was worth to study the critical exponents of ME and their dependence on external magnetic field. The simultaneous measurement of the above signals can provide more details about the At/Mt transformation.

In summary, the noisy behaviour of the At/Mt transformation is a relatively new, very actively researched area, with numerous unanswered questions and promising opportunities.

Aims

During my research I studied the At/Mt transformation of single crystalline Ni_2MnGa ferromagnetic SMA, using noise measurement techniques. My work was fundamental research, dealing with the nature of the At/Mt transformation. The aims of the work were the following:

- Investigating the possibility of TE measurements using conventional DSC.
- Compare the energy exponents of TE and AE.
- Compare the available three types of Ni_2MnGa samples.
- Assembling the necessary measuring system for simultaneous AE and ME measurements.
- Study the magnetic field dependence of the critical exponents for acoustic and magnetic emission.
- Investigating the coincidence of the noise activities with simultaneous measurements.
- Investigating the temporal correlations between single AE or ME avalanches.

- Study the temporal connection between consecutive pairs of AE and ME events.

Results

1. I demonstrated, first time in the literature, that a conventional differential scanning calorimeter can be suitable for observing well split thermal peaks during the At/Mt transformation, which are suitable for statistical analysis. To achieve this, I roughened the surface of the sample by electro-erosion. I used the lowest possible heating/cooling rate, and the mass of the sample was also a major parameter. In addition to the TE, the surface roughening increased the noise activity of the acoustic emission as well. Nevertheless the other statistical parameters (the critical exponents) were the same for samples with smooth and roughened surface. [A1, P1]
2. I have shown, that during the At/Mt transformation of Ni_2MnGa the critical exponents of the probability density functions for avalanche energies during cooling are the same within the experimental errors for TE and AE. For the family

of the widely applied ferromagnetic SMAs this observation is the first (there were similar results for one Cu-based SMA). Due to the large asymmetry in the noise activities during heating and cooling, I was not able to observe split the DSC peaks and therefore I could not calculate TE critical exponents for heating measurements. This asymmetry was also present in AE and ME measurements (without external magnetic field), the number of events as well as the amplitude and energy exponents were different for heating and cooling. [A1, A2, P1, P2]

3. Regarding the three types of Ni_2MnGa samples (with same composition but different martensite twin structure and twin boundary mobility) the statistical parameters of the AE and TE during the At/Mt transformation were the same within the experimental errors. We could only make difference between the three samples with measuring deformation induced magnetic avalanches in martensitic phase. From the processing of the measured data I showed, that for the sample with highly mobile, type II twin boundaries (sample “Treated II”) the energy of the emitted noise was considerably smaller and the critical exponents for amplitude and energy distributions were higher. [A1, P1, A3]

4. I pointed out, with simultaneous TE and AE as well as with simultaneous AE and ME measurements that the activities of the above noises are in good coincidence with each other. This means, that all this three emissions have the same start and the same finish temperatures during the At/Mt transformation. Furthermore I showed from simultaneous TE and AE measurements, that higher acoustic activity belongs to higher martensite fraction. This can be due to the fact, that when the variants of the freshly formed martensite meet with each other, the sources of the AE (frictional interactions and elastic energy relaxation) are much more active. In addition I took part in the construction of the necessary instruments. [A2, P2, T1]
5. I studied the dependence of the AE and (first in the literature) the ME critical exponents on the external, static magnetic field. The avalanche amplitude and energy exponents for these two phenomena behaved the same. At lower magnetic field values I observed similarly large asymmetry in the critical exponents for heating and cooling as in the former experiments. At around 50-100 mT, there was a relatively large drop in the amplitude and energy exponents for heating and thus, above this value the exponents for heating and cooling were the same within the experimental error. This behaviour is due to the fact that during cooling at

higher external magnetic field values a well oriented martensite structure develops with lower multiplicity of the martensite structure. Additionally, the corresponding exponents for AE and ME were the same at higher magnetic fields. [A2, P2, T1]

6. I studied temporal correlations between single noise events. The experimentally determined normalized waiting time distributions deviate from the Poisson-type behaviour, which is valid for uncorrelated events. The waiting time distributions can be characterized by two power functions for short and long waiting times, respectively. Furthermore, for uncorrelated events the probability distributions of the number of events belonging to the same burst with a properly chosen waiting time limit ($P(n; \tau_m)$) follow exponential behaviour. The experimentally determined $P(n; \tau_m)$ functions showed power-law behaviour, indicating the bursty character of the AE and ME. The normalized probability functions of waiting times as well as the $P(n; \tau_m)$ functions are scaled together for AE and ME and for heating and cooling, indicating the universal character of these functions. I obtained the same conclusion analysing the results for magnetic field induced twin rearrangements (as co-author of the publication). In this case I pointed out that there is

no correlation if the events are artificially shuffled.
[A2, A4, P2, T1, T2, T3]

7. From simultaneous measurement of AE and ME I studied the correlation between these two phenomena by calculating the distribution of time delays between pairs of AE and ME events. In the 10-100 μ s time delay range the probability that an AE event is followed by a ME avalanche was higher than the probability of the reverse case. At high external magnetic field, the difference in the probabilities was more significant (three orders of magnitude difference in the probabilities). This is the first accurate, reliable result in the literature, which is in accordance with the expectation, that the structural transformation (accompanied with AE) is the primary effect, and the rearrangement of the magnetic domain structure is the consequence of the structural transformation. [A2, P2, T1, T2, T3]

Közlemények / Publications

Az értekezéshez kapcsolódó publikációk / Publications related to the thesis

Közlemények tudományos folyóiratokban / Articles in referred journals

- A1. **L. Z. Tóth**, S. Szabó, L. Daróczi and D. L. Beke:
*Calorimetric and Acoustic Emission study of
martensitic transformation in single-crystalline
Ni₂MnGa alloys.* Physical Review B **90**, 224103
(2014.)¹
IF: 3.736
Független hivatkozások / Independent citations: 5
(2018. 04. 09.)

- A2. **L. Z. Tóth**, L. Daróczi, S. Szabó and D. L. Beke:
*Simultaneous investigation of thermal, acoustic
and magnetic emission during martensitic
transformation in single crystalline Ni₂MnGa.*
Physical Review B **93** 144108. (2016.)
IF: 3.836

¹ A publikációért megkaptam a Debreceni Egyetem Publikációs Díját
2015-ben. / I got the Publication Award of University of Debrecen
for this article in 2015.

A3. L. Daróczy, Sz. Gyöngyösi, **L. Z. Tóth** and D. L. Beke: *Effect of the martensite twin structure on the deformation induced magnetic avalanches in Ni_2MnGa single crystalline samples*. Scripta Materialia **114**, 161-164. (2016.)

IF: 3.747

A4. L. Daróczy, E. Piros, **L. Z. Tóth** and D. L. Beke: *Magnetic field induced random pulse trains of magnetic and acoustic noises in martensitic single-crystal*. Physical Review B **96** 014416. (2017.)
IF: 3.836 (2016)

Előadások / Talks

T1. **L. Z. Tóth**: *Szimultán mágneses és akusztikus emissziós vizsgálatok Ni_2MnGa alakemlékező ötvözetben*. Doffi konferencia 2016. 06. 16-19. Balatonfenyves, Magyarország

T2. **L. Z. Tóth**, L. Daróczy, S. Szabó and D. L. Beke: *Temporal Correlations from Thermal, Acoustic and Magnetic Noise Measurements Obtained during A/M Transformation of Ni_2MnGa* . International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2017), 2017. 07. 09-14. Chicago, IL, United States of America

T3. **L. Z. Tóth**, L. Daróczy, D. L. Beke: *Időbeli korrelációk vizsgálata Ni_2MnGa A/M transzformációja során végzett termikus, akusztikus és mágneses zajmérések alapján*. XI. Országos Anyagtudományi Konferencia 2017. 10. 15-17. Balatonkenese, Magyarország

Poszterek / Posters

P1. **L. Z. Tóth**, L. Daróczy, S. Szabó, Z. Halász and D. L. Beke: *Statistical analysis of jerky character of DSC and acoustic emission signals obtained during martensitic transformation in single crystalline Ni_2MnGa* . International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2014), 2014. 07. 06-11. Bilbao, Spain

P2. **L. Z. Tóth**, L. Daróczy, S. Szabó and D. L. Beke: *Acoustic and magnetic emission in Ni_2MnGa ferromagnetic shape memory alloy*. European Symposium on Martensitic Transformations (ESOMAT 2015), 2015. 09. 14-18. Antwerp, Belgium

P3. L. Daróczy, E. Piros, **L. Z. Tóth** and D. L. Beke: *Jerky Magnetic and Acoustic Noises Induced by External Magnetic Field in Martensitic Single Crystalline Ni_2MnGa* . International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2017),

2017. 07. 09-14. Chicago, IL, United States of America

Egyéb közlemények / Other publications

Közlemények tudományos folyóiratokban /

Articles in referred journals

OA1. L. Daróczi, Sz. Gyöngyösi, **L. Z. Tóth** and D. L. Beke: *Jerky magnetic noises generated by cyclic deformation of martensite in Ni₂MnGa single crystalline shape memory alloys*. Applied Physics Letters **106** 041908. (2015.)
IF: 3.142

OA2. M. K. Bolgár, **L. Z. Tóth**, S. Szabó, Sz. Gyöngyösi, L. Daróczi, E. Y. Panchenko, Y. I. Chumlyakov and D. L. Beke: *Thermal and acoustic noises generated by austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals*. Journal of Alloys and Compounds **658** 29. (2016.)
IF: 3.133
Független hivatkozások / Independent citations: 2
(2018. 04. 09.)

OA3. M. K. Bolgár, L. Daróczi, **L. Z. Tóth**, E. E. Timofeeva, E. Y. Panchenko, Y. I. Chumlyakov and D. L. Beke: *Effect of γ precipitates on thermal*

and acoustic noise emitted during austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals. Journal of Alloys and Compounds **705** 840. (2017.)
IF: 3.133 (2016)

OA4. D. Beke, M. K. Bolgár, **L. Z. Tóth** and L. Daróczi:
On the asymmetry of the forward and reverse martensitic transformations in shape memory alloys. Journal of Alloys and Compounds **741** 106-115. (2018.)
IF: 3,133 (2016)

Posztterek / Posters

OP1. L. Daróczi, Sz. Gyöngyösi, **L. Z. Tóth** and D. L. Beke: *Generation of Magnetic Noises in Ni₂MnGa Single Crystal by Deformation in Martensitic State.* International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2014), 2014. 07. 06-11. Bilbao, Spain

OP2. D. L. Beke, M. K. Bolgár, **L. Z. Tóth** and L. Daróczi: *Thermal and acoustic noises generated by austenite/martensite transformation in single crystalline NiFeGaCo single crystals.* European Symposium on Martensitic Transformations (ESOMAT 2015), 2015. 09. 14-18. Antwerp,

Belgium

- OP3. D. L. Beke, M. K. Bolgár, **L. Z. Tóth** and L. Daróczi: *On the asymmetry of the forward and reverse martensitic transformations in shape memory alloys*. International Conference on Martensitic Transformations (ICOMAT 2017), 2017. 07. 09-14. Chicago, IL, United States of America



Nyilvántartási szám: DEENK/89/2018.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Tóth László Zoltán

Neptun kód: FG5YGQ

Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10048051

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

1. Daróczi, L., Piros, E., **Tóth, L. Z.**, Beke, D. L.: Magnetic field induced random pulse trains of magnetic and acoustic noises in martensitic single-crystal.
Phys. Rev. B. 96 (1), 014416-1 - 014416-11, 2017. ISSN: 2469-9950.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.96.014416>
IF: 3.836 (2016)
2. Daróczi, L., Gyöngyösi, S., **Tóth, L. Z.**, Beke, D. L.: Effect of the martensite twin structure on the deformation induced magnetic avalanches in Ni₂MnGa single crystalline samples.
Scr. Mater. 114, 161-164, 2016. ISSN: 1359-6462.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2015.12.018>
IF: 3.747
3. **Tóth, L. Z.**, Daróczi, L., Szabó, S., Beke, D. L.: Simultaneous investigation of thermal, acoustic, and magnetic emission during martensitic transformation in single-crystalline Ni₂MnGa.
Phys. Rev. B. 93 (14), 144108-1 - 144108-9, 2016. ISSN: 2469-9950.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.93.144108>
IF: 3.836
4. **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Daróczi, L., Beke, D. L.: Calorimetric and acoustic emission study of martensitic transformation in single-crystalline Ni₂MnGa alloys.
Phys. Rev. B. 90 (22), 224103-1 - 224103-6, 2014. ISSN: 1098-0121.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.224103>
IF: 3.736





További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (4)

5. Beke, D. L., Bolgár, M., **Tóth, L. Z.**, Daróczi, L.: On the asymmetry of the forward and reverse martensitic transformations in shape memory alloys.
J. Alloy. Compd. 741, 106-115, 2018. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.11.271>
IF: 3.133 (2016)
6. Bolgár, M., Daróczi, L., **Tóth, L. Z.**, Timofeeva, E. E., Panchenko, E. Y., Chumlyakov, Y. I., Beke, D. L.: Effect of [gamma] precipitates on thermal and acoustic noise emitted during austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals.
J. Alloy. Compd. 705, 840-848, 2017. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.02.167>
IF: 3.133 (2016)
7. Bolgár, M., **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Gyöngyösi, S., Daróczi, L., Panchenko, E. Y., Chumlyakov, Y. I., Beke, D. L.: Thermal and acoustic noises generated by austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals.
J. Alloy. Compd. 658, 29-35, 2016. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.173>
IF: 3.133
8. Daróczi, L., Gyöngyösi, S., **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Beke, D. L.: Jerky magnetic noises generated by cyclic deformation of martensite in Ni₂MnGa single crystalline shape memory alloys.
Appl. Phys. Lett. 106, 041908-1 - 04198-4, 2015. ISSN: 0003-6951.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4907227>
IF: 3.142

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 27,696

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):

15,155

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

Debrecen, 2018.04.13.





Registry number:
Subject:

DEENK/89/2018.PL
PhD Publikációs Lista

Candidate: László Zoltán Tóth

Neptun ID: FG5YGQ

Doctoral School: Doctoral School of Physics

MTMT ID: 10048051

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (4)

1. Daróczi, L., Piros, E., **Tóth, L. Z.**, Beke, D. L.: Magnetic field induced random pulse trains of magnetic and acoustic noises in martensitic single-crystal.
Phys. Rev. B. 96 (1), 014416-1 - 014416-11, 2017. ISSN: 2469-9950.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.96.014416>
IF: 3.836 (2016)
2. Daróczi, L., Gyöngyösi, S., **Tóth, L. Z.**, Beke, D. L.: Effect of the martensite twin structure on the deformation induced magnetic avalanches in Ni₂MnGa single crystalline samples.
Scr. Mater. 114, 161-164, 2016. ISSN: 1359-6462.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2015.12.018>
IF: 3.747
3. **Tóth, L. Z.**, Daróczi, L., Szabó, S., Beke, D. L.: Simultaneous investigation of thermal, acoustic, and magnetic emission during martensitic transformation in single-crystalline Ni₂MnGa.
Phys. Rev. B. 93 (14), 144108-1 - 144108-9, 2016. ISSN: 2469-9950.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.93.144108>
IF: 3.836
4. **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Daróczi, L., Beke, D. L.: Calorimetric and acoustic emission study of martensitic transformation in single-crystalline Ni₂MnGa alloys.
Phys. Rev. B. 90 (22), 224103-1 - 224103-6, 2014. ISSN: 1098-0121.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.90.224103>
IF: 3.736





List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (4)

5. Beke, D. L., Bolgár, M., **Tóth, L. Z.**, Daróczy, L.: On the asymmetry of the forward and reverse martensitic transformations in shape memory alloys.
J. Alloy. Compd. 741, 106-115, 2018. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.11.271>
IF: 3.133 (2016)
6. Bolgár, M., Daróczy, L., **Tóth, L. Z.**, Timofeeva, E. E., Panchenko, E. Y., Chumlyakov, Y. I., Beke, D. L.: Effect of [gamma] precipitates on thermal and acoustic noise emitted during austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals.
J. Alloy. Compd. 705, 840-848, 2017. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.02.167>
IF: 3.133 (2016)
7. Bolgár, M., **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Gyöngyösi, S., Daróczy, L., Panchenko, E. Y., Chumlyakov, Y. I., Beke, D. L.: Thermal and acoustic noises generated by austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals.
J. Alloy. Compd. 658, 29-35, 2016. ISSN: 0925-8388.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.173>
IF: 3.133
8. Daróczy, L., Gyöngyösi, S., **Tóth, L. Z.**, Szabó, S., Beke, D. L.: Jerky magnetic noises generated by cyclic deformation of martensite in Ni₂MnGa single crystalline shape memory alloys.
Appl. Phys. Lett. 106, 041908-1 - 04198-4, 2015. ISSN: 0003-6951.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4907227>
IF: 3.142

Total IF of journals (all publications): 27,696

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 15,155

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

