

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei
Abstract of PhD Thesis

**Zajmérések fázisátalakulás közben NiFeGaCo
alakmemória ötvözetben**

**Noise measurements during phase
transformation in NiFeGaCo shape memory
alloy**

Bolgár Melinda

Témavezető/Supervisor: Dr. Daróczi Lajos



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

Bevezetés

Doktori értekezésemben alakmemória ötvözetek fázisátalakulása közben emittált zajcsomagokat vizsgáltam. Az alakmemória ötvözetek külső vezérlő inger hatására képesek az alakjukat megváltoztatni. A jelenség magyarázata a kristályszerkezet változásához köthető. Az alakmemória ötvözetek kutatása a potenciális alkalmazások miatt növekvő tendenciát mutat, és egyre újabb anyagcsaládok kerülnek előtérbe. Az általam vizsgált NiFeGaCo ötvözetek számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek (ferromágnesesség, nagy szilárdság, jó ciklusszámtűrés, illetve nagyfokú rugalmasság az átalakulási illetve Curie-hőmérsékletek tekintetében az összetételtől függően), így a kutatásuk gyakorlati oldalról megalapozott.

A lehetséges alkalmazásokon túl a további motivációt a kutatás elvégzéséhez az adta, hogy bár a martenzites átalakulásokat már régóta ismerjük és kutatjuk, még mindig vannak megválaszolatlan kérdések akár az acélokak akár az alakmemória ötvözeteket tekintjük. Ezen kérdések megválaszolásához pedig olyan új típusú vizsgálati módszerek is szükségesek, mint például a zajmérés.

A kutatómunkám során termikus, akusztikus és mágneses zajt mértem $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ ötvözet ausztenit-martenzit átalakulása során. A zajmérési technikákat (főleg az akusztikus emissziót) elterjedten alkalmazzák különböző folyamatok (például törés) nyomon követésére az

irodalomban. A módszerek kombinálásával olyan egyedi információkhoz lehet jutni, amelyek segíthetnek a vizsgált folyamat (esetemben a martenzites átalakulás) finomabb részleteinek, például szakaszos jellegének és aszimmetriájának megértésében.

Célkitűzések

A szakirodalomban található, a kutatás témájához kapcsolódó publikációk, valamint a kutatócsoportunk korábbi, Ni_2MnGa alakemlékező ötvözetén végzett méréseinek tapasztalatai alapján a kutatás során a következő célokat tűztem ki:

- Akusztikus és termikus zaj szimultán mérése különböző módon hőkezelt $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ egykristály mintákon fázisátalakulás közben.
- Az ausztenit-martenzit átalakulás megfigyelése optikai mikroszkópia segítségével.
- A γ -kiválások hatásának vizsgálata az átalakulási zaj paraméterekre (különös tekintettel a hatványkitevő változására).
- A hűtés-fűtés aszimmetria vizsgálata az akusztikus és a termikus mérések alapján.
- Mágneses zaj mérése az ausztenit-martenzit fázisátalakulás során.

Vizsgálati módszerek

Kutatómunkám során vizsgált (a Tomszki Egyetem kutatócsoportja által készített) $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ minták előéletét és mikroszerkezetét az alábbi táblázatban foglaltam össze.

Minta száma	Hőkezelés	γ -kiválások mérete
1	nincs	-
2	1373 K, 25 min	5-15 μm
3	1373 K, 25 min, 823 K, 30 min	5-15 μm + 150-300 nm
4	1373 K, 25 min, 673 K, 60 min	5-15 μm + 5-20 nm

A DSC (differenciális pásztázó kalorimetria) méréseket egy Perkin Elmer DSC 7 berendezéssel végeztem 10 K/min – 0.1 K/min fűtési sebesség tartományban. Az alacsony jelszint miatt mintánként 15 ciklust mértem a megfelelő statisztika eléréséhez. Logaritmikus dobozolást alkalmaztam és a kapott P(E)-E gyakoriság függvényeket logaritmikus skálán ábrázoltam.

Az akusztikus emissziós méréseket a DSC-mérésekkel egyidőben egy Sensophone AED 404 Akusztikus Emissziós Diagnosztikai Berendezés (Geréb és Tsa. Kft.) segítségével végeztem. A DSC mintatartó kemence tetejét kinyitva egy acél hullámvezető tűt nyomtam egy rugós erőközvetítő szerkezet segítségével a mintára, ami

az akusztikus jeleket továbbította a piezoelektromos mikrofon felé.

A mágneses zaj méréséhez az egykristályokból hosszú vékony szálatat vágtam, majd elektrokémiai úton (foszforsavas közegben) tovább vékonyítottam őket és feltekercseltem egy 300-as menetszámú detektor tekerccsel. A hőmérséklet méréséhez és szabályozásához egy termoelemet rögzítettem közvetlenül a minta mellé. A külső mágneses tér iránya párhuzamos volt a minta szálirányával ((001) irány).

A vizsgált zaj jelenségek, az átalakulás szakaszos jellegéből következően, hatványfüggvény viselkedést mutattak és a valószínűségi sűrűség függvényeket a

$$P(x) = ax^{-\beta} e^{\left(\frac{x}{x_c}\right)} \quad (1)$$

függvénnyel illetve a β kritikus exponenseket határoztam meg.

A mágneses permeabilitás mérésekhez egy 1 kHz frekvenciájú szinuszos gerjesztő jelet használtam. A vevőtekerccs menetszáma ez esetben is 300 volt.

A mágnesezési görbék méréséhez házilag épített vibrációs magnetométert alkalmaztam. A minták (001) orientációja a tér irányára merőleges volt. A mágneses teret egy Hall-szonda segítségével mértem.

Az optikai mikroszkópos képeket egy Zeiss Axio Scope A1 mikroszkóppal készítettem differenciális interferencia

kontraszt (DIC) üzemmódban, 50x-es nagyítás mellett. A transzmissziós elektronmikroszkópos képek a Tomski Egyetemen készültek világos látóterű üzemmódban. A szórás képek pedig, melyekből a kristályszerkezeteket meghatároztuk, határolt területű diffrakciós felvételek. A pásztázó elektronmikroszkópiás vizsgálatokat a tanszéki Hitachi S-4300 CFE típusú berendezéssel végeztük. A minta összetételére vonatkozó méréseket Bruker (SDD) energia-diszperzív detektorral készítettük.

Új tudományos eredmények

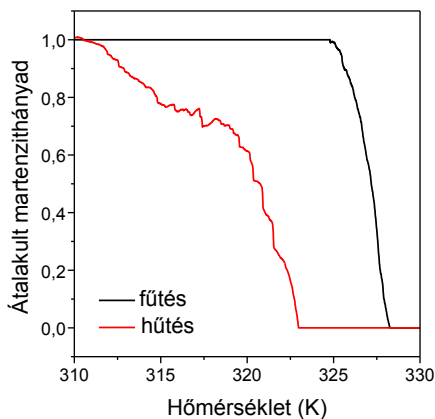
T1: A minták vizsgálata és a martenzites átalakulás nyomon követése mikroszkópiával

Megállapítottam, hogy a homogén egykristály mintában az átalakulás során egy határfelület söpör végig az egész mintán, ezzel szemben a kiválásokat tartalmazó mintákban, az alakmemória ötvözetekre általában jellemző módon, adott orientációjú martenzit tűk jelennek meg, illetve tűnnek el és több ausztenit/martenzit határfelület keletkezik. Az egyetlen határfelület mozgásával végbemenő átalakulás során meghatároztam az egyensúlyi átalakulási hőmérsékletet ($T_0=283.5$ K).

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: [A1], [A2], [C1], [C2].

T2: Differenciális pásztázó kalorimetriás mérések

Meghatároztam a termikus zaj hatványkitevőit a homogén mintán az átalakulás mindkét irányában ($\varepsilon_h=2.0\pm 0.1$, $\varepsilon_f=1.7\pm 0.1$), a kiválásokat tartalmazó mintákban pedig hűtés során ($\varepsilon_h=1.6\pm 0.1$ és $\varepsilon_h=1.9\pm 0.1$ a két mintára). Megállapítottam, hogy hűtés és fűtés során eltérő hatványkitevők jellemzik az eloszlásokat és a mikroszerkezet is befolyásolja az energia-kitevőket. A homogén minta esetén a termikus mérésből számolt hiszterézishurok téglalap alakú (a kezdeti és befejező hőmérsékletek különbsége kisebb, mint 1 K). Precipitátumok jelenlétében, összhangban a T1 tézisben leírt átalakulási morfológia változással, a hiszterézis-görbék alakja eltorzul, ahogyan az az alábbi ábrán is látható.



A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: [A1], [A2], [C1], [C2], [C3], [P1].

T3: Akusztikus emisszió mérése

Három, különböző mikroszerkezetű minta esetén meghatároztam a termikusan vezérelt fázisátalakulás közben emittált akusztikus hullámok amplitúdó és energia-eloszlását jellemző hatványkitevőket, mind a fűtés, mind a hűtés során. Megállapítottam, hogy a hűtési/fűtési sebesség az általam vizsgált tartományban nem befolyásolja a hatványkitevők értékét. Az akusztikus és termikus mérésekből meghatározott energia kitevők hibahatáron belül azonosak, a hűtés és a fűtés során számolt kitevők azonban eltérést mutatnak, ahogyan az az alábbi táblázatban is látszik.

Minta	Energia-kitevő fűtés során	Energia-kitevő hűtés során
1	1.7±0.1	2.0±0.1
2	1.8±0.1	1.6±0.1
3	1.9±0.1	1.9±0.1

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: [A1], [A2], [C1], [C2], [C3], [P1].

T4: Hűtés-fűtés aszimmetria vizsgálata

Az akusztikus eseményszámok, illetve energia kitevők hűtés és fűtés során megfigyelt különbségei alapján negatív illetve pozitív aszimmetria paramétereket definiáltam, melyek az eltérő mikroszerkezetű mintákon különbözőek voltak. Ennek értelmezéséből arra a következtetésre jutottam, hogy a súrlódásos energiaveszteség és a nukleáció szerepe az aszimmetria kialakulásában elhanyagolható a rugalmas energia akusztikus emisszióval történő relaxációjához képest. Ennek megfelelően az aszimmetriát a fűtés, illetve hűtés során különböző hányadban (akusztikus emisszióval) relaxált rugalmas energia járulékokkal értelmeztem. Megmutattam továbbá, hogy az aszimmetria paraméterek között valóban olyan kapcsolatnak kell lennie, mint amelyet a kísérleti adatokból megállapítottunk, tehát ha a kitevők relatív különbsége pozitív, akkor az eseményszámok és energiák relatív különbsége negatív.

A tézisponthoz kapcsolódó publikációk: [A2], [A3], [P2].

T5: Mágneses emisszió vizsgálata

A mágneses zajmérésekből meghatározott aszimmetria paraméter értékeket az akusztikus emisszióból számolt paraméterekkel összehasonlítva megállapítottam, hogy az aszimmetria kisebb mértékben ugyan, de ugyanúgy jelen van a mágneses mérések esetén is.

Minta	Mágneses emisszió		Akusztikus emisszió	
	β_ε	β_α	β_ε	β_α
1	-0.06	-0.09	-0.15	-0.14
2	0.07	0.11	0.17	0.13

Megállapítottam, hogy a mikroszerkezet a mágneses zajt nagymértékben befolyásolja. A nagyméretű γ -fázisú kiválások jelenléte a zajaktivitást megnöveli, a kis kiválások pedig az eredendően unipoláris zajt bipolárisra módosítják. Megállapítottam, hogy a külső mágneses tér növelésének hatására a nanoméretű γ -kiválásokat tartalmazó mintákban az eredetileg bipoláris jellegű zajcsomag unipolárisra válik. A megfigyelt viselkedést a külső tér hatására részlegesen vagy teljesen rendeződő martenzit variánsokkal magyaráztam.

A tézisonthoz kapcsolódó publikációk: [A4], [P3].

A disszertáció elkészülését támogatták a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036 és a GINOP-2.3.2-15-2016-00041 pályázatok, illetve az Új Nemzeti Kiválóság Program. A projektek az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósultak meg.

Introduction

In my PhD dissertation I have investigated different noises emitted during martensitic phase transformation in NiFeGaCo shape memory alloys. Shape memory alloys are capable of a certain shape change and recovery upon external excitations. The explanation of shape memory effect is connected to the change of the crystal structure during the phase transformation. The investigation of shape memory alloys is permanently increasing because of their potential applications, and because new material families appear from time to time. The NiFeGaCo alloys have several beneficial properties (ferromagnetism, high strength, cyclic stability and wide transformation temperature range as a function of Co-amount) so their investigation is motivated by the different applications.

Beside the potential applications another motivation was, that although the martensitic transformations are well-known and studied, there are still unanswered questions related to both steels and shape memory alloys. In understanding the finer details of the transformation new experimental methods can help, such as noise measurements.

In my research I have measured thermal, acoustic and magnetic noise in NiFeGaCo alloys during martensitic phase transformation. The noise measurements (especially the acoustic emission) are widely used in the literature to follow different phenomena (such as

fracture). With the combination of noise measurement methods unique information can be obtained, which can help us find answers to some open questions of the martensitic transformations, providing information about its jerky character.

Aims

Based on the available publications in the literature connected to the research topic and on the experiences of our research group in measuring Ni_2MnGa , I set myself the following aims during the research:

- Simultaneous measurement of acoustic and thermal noise during the phase transformation in $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ single crystals with different microstructures.
- Monitoring the austenite/martensite transformation with optical microscopy.
- Investigation of the effect of the microstructure on the noise parameters.
- The investigation of the heating-cooling asymmetry based on the thermal and acoustic measurements.
- Measuring magnetic noise during the phase transformation.

Experimental techniques

The different heat treatments and the size of the γ -precipitates are shown below in the table for the investigated $\text{Ni}_{49}\text{Fe}_{18}\text{Ga}_{27}\text{Co}_6$ samples, produced by the research team of Tomsk State University.

Sample	Heat treatment	γ -precipitates
1	-	-
2	1373 K, 25 min	5-15 μm
3	1373 K, 25 min, 823 K, 30 min	5-15 μm + 150-300 nm
4	1373 K, 25 min, 673 K, 60 min	5-15 μm + 5-20 nm

The DSC measurements were carried out with a Perkin Elmer DSC 7 device in a range of 10-0.1 K/min driving rate. Because of the low noise activity 15 cycles were measured. Logarithmic boxing was used and the probability density functions were plotted in a log-log scale.

The acoustic emission was measured simultaneously with the DSC investigations with a Sensophone AED 404 Acoustic Emission Diagnostic Equipment (Geréb és Tsa. Kft.). The DSC sample holder pan was opened and a steel needle waveguide was impressed to the sample to collect the noise waves. The detector was a piezo microphone.

For the magnetic noise measurements thin fibres were cut and electro polished (in phosphoric acid). The sample was tightly surrounded by the pick-up coil and the number of windings (N) was 300. It was put in a small heater, in order to control the temperature of the sample properly. The external magnetic field was parallel with the longitudinal axis of the sample ((001) direction).

The investigated noises showed power-law behaviour, described by eq. (1):

$$P(x) = ax^{-\beta} e^{\left(-\frac{x}{x_c}\right)} \quad (1)$$

For the permeability measurements 1 kHz sinus signals were applied with a pick-up coil (N=300). For the vibrating sample magnetometer measurements a homemade setup was used. The (001) orientation was perpendicular to the external magnetic field. The magnetic field was measured with a Hall-probe.

The optical microscopic investigations were carried out with a Zeiss Axio Scope A1 microscope with difference interference contrast mode, with zoom 50x. The transmission electron microscopic images were taken in the Tomsk State University. The crystal structures were determined from selected area diffraction patterns. The scanning electron microscopic investigations were made with a Hitachi S-4300 CFE equipment. The composition

of the samples was determined with Bruker (SDD) energy dispersive detector.

Scientific results

T1: The investigation of the samples and monitoring the martensitic transformation with microscopy

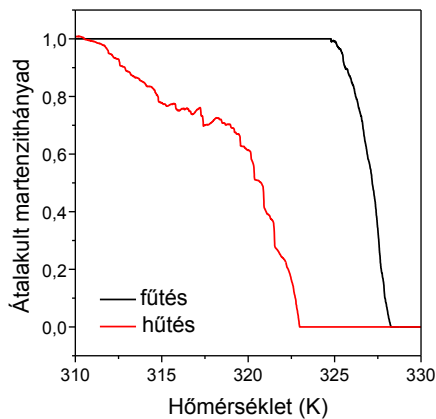
It was found that in the homogenous sample the transformation underwent by single interface motion, but in the samples containing precipitates many martensite needles were formed and grown in mostly two perpendicular directions, with the formation of many austenite/martensite interfaces. From the observation of the transformation via single interface motion I determined the equilibrium transformation temperature ($T_0=283.5$ K).

Publications connected to this thesis point are: [A1], [A2], [C1], [C2].

T2: Thermal noise measurements

I determined the critical exponents from thermal noise measurements for cooling and heating in the homogenous sample ($\epsilon_h=2.0\pm 0.1$, $\epsilon_f=1.7\pm 0.1$), and for cooling in the samples containing precipitates ($\epsilon_h=1.6\pm 0.1$ and $\epsilon_h=1.9\pm 0.1$ for the two samples). I found, that the exponents are different for heating and cooling, and the microstructure also had an influence on the exponents. In

the case of the homogenous sample, the shape of the hysteresis is rectangular (the difference of the start and finish temperatures are lower, than 1 K). In the presence of the γ -precipitates, in accordance with the morphology change described in T1, the shape of the hysteresis is deformed, as shown in the figure below.



Publications connected to this thesis point are: [A1], [A2], [C1], [C2], [C3], [P1].

T3: Acoustic emission measurements

I determined the amplitude and energy exponents of the acoustic noise emitted during thermally driven phase transformation for three samples with different microstructures for both heating and cooling. I observed,

that the driving rate has no effect on the critical exponents. The acoustic and thermal noise energy exponents are the same within error bar. However, there is a significant difference between the exponents calculated heating and cooling, as shown below.

Sample	Energy-exponent for heating	Energy-exponent for cooling
1	1.7 ± 0.1	2.0 ± 0.1
2	1.8 ± 0.1	1.6 ± 0.1
3	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1

Publications connected to this thesis point are: [A1], [A2], [C1], [C2], [C3], [P1].

T4: The heating-cooling asymmetry

I defined positive and negative asymmetry parameters based on my observations of the differences of the acoustic energies, number of hits and exponents for cooling and heating. From the detailed investigations, I came to a conclusion that the role of nucleation and dissipation by frictional interactions of the moving interface with obstacles are negligible as compared to the role of the relaxations of the elastic energy by acoustic emission in the formation of the asymmetry. So I interpreted the asymmetry with the different fraction of the relaxed elastic strain energy for cooling and heating. Furthermore, it was shown, that the asymmetry

parameters should have the same relations which was found from the experimental investigations, namely, if the exponent asymmetry parameters are positive, then the energy and count asymmetry parameters are negative.

Publications connected to this thesis point are: [A1], [A3], [P2].

T5: Magnetic noise measurements

After comparing the asymmetry parameter values from the magnetic measurements with the acoustic asymmetry parameters, I found, that the absolute value of the asymmetry is slightly smaller than in the case of acoustic emission, but it is still present, and the type of the asymmetry is the same in each of the samples.

Sample	Asymmetry parameters from ME		Asymmetry parameters from AE	
	β_ε	β_α	β_ε	β_α
1	-0.06	-0.09	-0.15	-0.14
2	0.07	0.11	0.17	0.13

I observed, that the microstructure has a strong influence on the measured noise signals. The large γ -precipitates increased the noise activity and the small γ -precipitates changed the original unipolar noise to bipolar. With the increasement of the external magnetic field the bipolar

nature was tended to decrease. I explained the observed behaviour with the partial or total ordering of the martensite variants upon cooling down in external magnetic field.

Publications connected to this thesis point are: [A4], [P3].

This thesis work was supported by the TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036, the GINOP-2.3.2-15-2016-00041 and the New National Excellence Program. These projects were supported by the European Union, co-financed by the European Social Found.

Közlemények a disszertáció tárgyköréből/ Publications related to the dissertation

Referált folyóiratcikkek/Scientific papers in refereed journals

[A1] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D.: *Effect of γ -precipitates on thermal and acoustic noise emitted during austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals*. J. Alloy. Compd. 705 840-848., 2017.

IF: 3,133

[A2] **Bolgár, M.**, Tóth, L., Szabó, S., Gyöngyösi, S., Daróczi, L., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D.: *Thermal and acoustic noises generated by*

austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals. J. Alloy. Compd. 658 29-35., 2016.

IF: 3,133

[A3] Beke, D., **Bolgár, M.**, Tóth, L., Daróczi L.,: *On the asymmetry of the forward and reverse martensitic transformations in shape memory alloys. J. Alloy. Compd. 741 106-115., 2018.*

IF: 3,133

[A4] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D,: *Magnetic noises emitted during martensitic transformation in Ni₄₉Fe₁₈Ga₂₇Co₆ single crystalline shape memory alloys. Intermetallics, bírálólat alatt.*

IF: 3,140

Konferencia-előadások/Oral presentations

[C1] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D.: *Effect of γ -precipitates on thermal and acoustic noises emitted during austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals, ICOMAT 2017, Chicago, USA, 2017.07. 09-14.*

[C2] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D.: *Effect of γ -precipitates on noises emitted during phase*

transformation in NiFeGaCo shape memory alloys, DOFFI, Balatonfenyves, Magyarország, 2017.06.15-18.

[C3] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D.: *The investigation of the austenite-martensite transformation of NiFeGaCo single crystals*, DOFFI, Balatonfenyves, Magyarország, 2016.06.16-19.

Poszterek/Posters

[P1] **Bolgár, M.**, Tóth, L., Szabó, S., Gyöngyösi, S., Daróczi, L., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., **Beke, D.**, *Thermal and acoustic noises generated by austenite/martensite transformation in NiFeGaCo single crystals*, ESOMAT, Antwerpen, Belgium, 2015.09.14-18.

[P2] **Beke, D.**, **Bolgár, M.**, Tóth, L., Daróczi, L., *On the Asymmetry of the Forward and Reverse Martensitic Transformations in Shape Memory Alloys*, ICOMAT, Chicago, USA, 2017.07. 09-14.

[P3] **Bolgár, M.**, Daróczi, L., Tóth, L., Timofeeva, E., Panchenko, E., Chumlyakov, Y., Beke, D., *Magnetic noise emitted during martensitic transformation in $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$ single crystals*, ESOMAT, Metz, France, 2018.08.27-31.



Nyilvántartási szám: DEENK/255/2018.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Bolgár Melinda
Neptun kód: AY0K0H
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10052394

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. 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)
2. **Bolgár, M.**, Daróczy, L., Tóth, L. Z., Timofeeva, E. E., Panchenko, E. Y., Chumlyakov, Y. I., Beke, D. L.: Effect of γ precipitates on thermal and acoustic noises 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)
3. **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

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 9,399

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9,399

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, 2018.06.19.

