Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Orientált egykristály előállítása Heusler ötvözetből

PHD értekezés tézisfüzet

Veres Zsolt

Mérnök-fizikus

Tudományos témavezető

Dr. Roósz András

Miskolci Egyetem

Műszaki Anyagtudományi Kar

Anyagtudományi Intézet

Miskolc

2009

1. Bevezetés

Egyes neutron diffrakciós vizsgálatokkal szemben támasztott követelmények megkövetelik a minél nagyobb intenzitású, megfelelő mértékben monokromatizált és polarizált neutronsugarak használatát. Minden követelménynek teljes mértékben eleget tenni a ma ismert módszerekkel nem lehetséges, azonban az értékek optimalizálhatók. A különböző monokromatizálási és polarizálási eljárások, berendezések mindegyikének megvannak az előnyei és hátrányai egyaránt.

A módszerek többségében a két folyamat egymástól térben és időben elkülönül, azaz a monokromatizálás és a polarizálás két lépésben történik, ami többszöri intenzitás-vesztéssel jár. Ezt a túlzott intenzitás-vesztést küszöböli ki az egykristállyal egy lépésben való monokromatizálás és polarizálás.

Több ötvözet is alkalmas egykristály monokromátor-polarizátor alapanyagának, de ilyen egykristályok előállítása még nem megoldott, általában több nagy kristály közül választanak ki egy megfelelőt. A módszer hátránya, hogy a kristály előállítása nem ellenőrzött körülmények között történik, így a kristályok méretét és minőségét nem lehet közvetlenül befolyásolni.

Munkám során a célkitűzésem volt egy komplex eljárás kidolgozása (az ötvözet előállításától a kristályok minősítéséig) amellyel a Cu_2MnAl Heusler ötvözetből olyan egykristály növeszthető amely alkalmas neutronsugár egyidejű monokromatizálására és polarizálására.

2. Irodalmi összefoglaló

A neutrondiffrakciós vizsgálatok jelentős részéhez monokromatizált nyaláb szükséges. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálatok elvégzéséhez egy bizonyos energiájú (kis energiatartományba eső) neutronokra van szükség. A monokromatizálásra több módszer is ismeretes. A legtöbb közülük a repülési úthossz különbségek (TOF=Time Of Flight) segítségével monokromatizál, vagyis azt használja ki, hogy a különböző hullámhosszú, így különböző energiájú neutronok sebessége is különböző, ezáltal ugyan akkora út megtételéhez más-más időre van szükségük. Ezen módszer hátránya hogy a nyalábot megszaggatja erősen lecsökkentve az intenzitást.

Elterjedtebb az egykristály monokromátor alkalmazása. Ez a módszer a Bragg-feltétel szerint történő monokromatizálás, ami folyamatos sugárnyaláb előállítását teszi lehetővé, szemben a fent ismertetett módszerrel. Ha feltételezzük, hogy a neutronsugarak a kristály különböző atomsíkjairól, mint síktükrökről verődnek vissza, akkor a visszavert nyalábok csak azokban az irányokban észlelhetőek, amelyekben a párhuzamos atomsíkokról visszavert nyalábok interferenciája erősítést eredményez.

Ideális kristály esetében, párhuzamos kristálytani síkoknál, egy adott szög alatt csak egy adott λ hullámhosszúsággal bíró neutronok verődnek vissza. Reális kristályok esetében azonban a kristálytani síkok egymással bezárt szöge nem 0 fok, attól eltér. Ebben az esetben a visszaszórt neutronok hullámhossza nem konstans érték, hanem annak szűk környezetébe eső hullámhosszúságú neutronok összessége. Az ilyen kristályon reflektálódott nyaláb hullámhossza normál eloszlású. A síkok

párhuzamostól való eltérésének mértékét az intenzitás eloszlásfüggvény félértékszélességével jellemezzük.

A neutronok forgásukból adódóan mágneses momentummal rendelkeznek, melynek paritása -½ vagy ½ lehet. A polarizálással szét tudjuk választani a forgás iránya alapján a neutronokat, sőt meg is tudjuk változtatni a paritásukat.

A polarizálás alapja, hogy a reflexiós szög és a teljes visszaverődés kritikus szöge többek között függ a mágneses tértől is a kétféle spin esetében nem egyenlő mértékben. Egy mágneses térbe helyezett ferromágneses szupertükör vagy egykristály más irányba veri vissza a különböző spinű neutronokat.

Ezek alapján vagy a már monokromatizált nyalábot vezetik egy szupertükörre, ami polarizálja azt, vagy a fehér nyaláb útjába olyan monokromátor kristályt helyeznek, ami ferromágneses és a monokromatizálással egy időben polarizálja is a nyalábot. Erre a célra régebben olyan $Co_{0,95}Fe_{0,05}$ egykristályt használtak, amiben a Fe^{57} izotóp található. Ennek kiváltására alkalmas az eredeti Heusler ötvözetből készített egykristály.

Ez utóbbi módszer rendelkezik a legnagyobb hatáskeresztmetszettel. Így lehet elérni a legnagyobb intenzitást, ezért kívánatos a megfelelő méretű és minőségű Heusler egykristályok előállítása.

A grenoblei Institut Laue Langevin-ben állítanak elő Heusler polarizátorokat. A 150mm hosszú 60mm átmérőjű kúpban végződő darabokat Bridgemann módszerrel növesztik. A kristályosítás körülményei és paramétereit nem publikálták. A darab nem egykristály, hanem répaszerkezetű. Ez azt jelenti, hogy több csíra keletkezik, majd növekszik

tovább irányítottan, minek az eredménye több nagy kristály, amit mozaikkristálynak* neveznek. Neutrondiffrakciós vizsgálattal felderítik a krisztallitok határait, majd felszeletelik úgy, hogy egy-egy szelet csak egy kristályból álljon. Ezután ezekből a szeletekből állítják össze a polarizátort.

A vizsgálataik szerint az így készített polarizátorok (monokromátorok) egy része a célnak megfelelő minőségű, méretű és orientációjú, míg egy másik része nem. A megfelelő darabokból monokromátorokat készítenek.

* Mozaikkristálynak nevezik a kevés nagy kristályból álló darabokat

3. Kísérleteim

3.1. Orientált egykristály előállításának módszere

Az előállítani kívánt monokromátorokhoz olyan egykristályból készített, minimum 5*20*50mm-es lemezekre van szükség, amelyeknek a legnagyobb, vagyis a 20*50mm-es lapja párhuzamos az {111} síksorozattal. Ilyen lapkák egyenkénti előállításánál egyszerűbb és gyorsabb, ha nagyobb térfogatú, megfelelő orientációjú darabokat növesztünk. Ezt az egykristályt aztán feldarabolva több megfelelő lemezt kapunk.

Az egykristályok előállításához szükség van a megfelelő összetételű előgyártmányra. Ez egy hétköznapi módszerrel, nagy tisztaságú összetevőkből készített polikristályos öntvény, amelyből a lentebb vázolt szabályozott módon átkristályosítással egykristály készíthető.

Ahhoz, hogy az átkristályosítás során csak egy csíra keletkezzen és nőjön tovább a darab teljes hosszában, a megfelelő alakú és anyagú kristályosító kapszulát és megfelelő kristályosítási paramétereket kell alkalmazni. Ezeknek a megtalálása volt a munkám legfontosabb része. A megfelelő paraméterekkel aztán egykristály növeszthető.

Az ilyen módon előállított egykristályok kristálytani orientációja közel véletlenszerű, befolyásolni nem lehetséges. Ahhoz, hogy a szükséges orientációjú kristályt lehesen növeszteni, szükség volt egy magkristályra. A magkristály egy olyan 5*5*20mm-es egykristály-darab volt, amelyiket a véletlenszerű orientációjú egykristályból munkáltattam ki. Fontos, hogy a mag egyik 5*20mm-es lapja merőleges legyen az {111} kristálytani irányra. Ha a lent bemutatott módon erre a magkristályra növesztünk egykristályt, annak az orientációja meg fog egyezni a mag orientációjával.

A darabok összetételének ellenőrzésére atomabszorpciós mérések készültek. A kristályok vizsgálatára és minősítésére fénymikroszkópos és neutrondiffrakciós vizsgálatokat végeztem, orientálásukra röntgen Laue módszert alkalmaztam.

Mindezeket figyelembe véve neutron monokromátor előállításának általam kidolgozott módszere orientált Heusler egykristályból a következő:

1) Polikristályos előgyártmány készítése öntéssel
2) Előgyártmányok összetételének ellenőrzése
3) Véletlenszerű orientációjú egykristály előállítása az előgyártmány átolvasztásával sokzónás kristályosítóban a megfelelő paraméterek alkalmazásával
4) Kristályok minősítése
5) A egykristály kristálytani orientációjának meghatározása után magkristály kimunkálása
6) Magkristályok minősítése, orientáció ellenőrzése
7) Egykristály növesztése orientáltan a magra növesztés módszerével
8) Kristályok minősítése, kristálytani orientáció ellenőrzése
9) Monokromátor lemezek kimunkálása
10) Monokromátor lemezek minősítése, orientáció ellenőrzése

3.2. Kísérleti összeállítás

A kristályosítási kísérletek során kifejlesztett alumínium-oxid kerámia kapszula 25°-os kúppal kezdődik és 1°-os dőlésszöggel rendelkező hengerszerű testben folytatódik.

A vákuum-indukciós kemencében előállított hengeres, polikristályos előgyártmányok alakját a tervezett végtermék alakjával majdnem megegyezőre gyártottam azzal a különbséggel, hogy az előgyártmány esetében a kezdeti kúp nyílásszöge 1°-al kisebb volt. Erre azért volt szükség, mert a Heusler ötvözet hőtágulási együtthatója nagyobb, mint az alumínium-oxidé, így szoros illeszkedés esetén szétrepesztette volna azt.

A kísérletekhez használt sokzónás kristályosító függőleges tengelyű csőkemence, amely 24 külön-külön fűthető, illetve szabályozható zónából áll. Minden fűtőtekercshez tartozik egy termoelem, amelyik szabályozza a tekercset.

A kemence számítógépes programmal történő zónánkénti pontos szabályozása révén a kemence terében bizonyos határok között tetszőleges hőmérsékletprofil alakítható ki és mozgatható, így egyirányú kristályosítás végezhető a kemence és a darab mozgatása nélkül.

3.3. Előkísérletek az USKI-ban

A kutatás kezdetén nem állt rendelkezésre az UMC, ezért a kísérletek végzését az egyszerűbb kivitelű változatában, az USKI-ban kezdtem. Ez egy régebbi modell, ami felépítésében sokban megegyezik a fejlettebb UMC-vel. A fő különbség, hogy ez nem csak vákuumban képes működni és a kemencetér sincs vákuum alatt. Ennek a következménye többek között, hogy a kemence terében a hőmérséklet-eloszlást csak kisebb határok között lehet szabályozni. Nem lehetséges a kemence falán 2K/mm-nél nagyobb hőmérséklet-gradienst előállítani.

Az USKI-ban végzett előkísérletek ugyan nem eredményeztek egykristályt, azonban olyan tapasztalatokkal szolgáltak, aminek következtében az UMC-ben szinte minden olyan kristályosítás, amelyik nem szakadt meg műszaki probléma miatt, egykristályt eredményezett.

Az előkísérletek legfontosabb eredményei a következők voltak:

- 10^{-2}mBar-os elővákkum nem elég nagy mértékű ahhoz, hogy a kísérletek során ne keletkezzen hamu, illetve reve.
- A polikristályos előgyártmány felületének simának, minden szennyezőtől, felületi hibától mentesnek kell lennie. A legkisebb hiba is csíraképző helyként szerepel
- Nem szükséges a kristályszelektor alkalmazása Heusler egykristály előállításához. Egy megfelelően kis kúpszögű kúpból kiindulva növeszthető egykristály.
- A darab alulról történő megolvasztása túl sok hibát eredményez, nem alkalmazható.
- Fölösleges a „két zónát előre egy zónát vissza” típusú kristályosítási frontmozgatás.

- A polikristályos előgyártmány öntésének módszerét az előkísérletek során dolgoztam ki, az öntéshez használt kemence kiválasztása és a megfelelő öntőforma kifejlesztése egyaránt ebben a periódusban valósult meg.
- A kristályosító kapszula anyagát és formáját szintén az USKI-ban kísérleteztem ki, az UMC-ben már csak az egykristály előállításához megfelelő alakú és anyagú kapszulát használtam.

3.4. Orientálatlan egykristályok előállítása az UMC-ben

A polikristályos darabból átkristályosítással egykristályt állítottam elő. Ehhez először a teljes darabot a kristályosítási hőmérséklet alatti hőmérsékletűre (820°C-ra) hevítettem, majd a darab tetejénél kialakítottam a megfelelő hőmérséklet-gradienst. Ennek a gradiensnek a 20mm/h sebességgel történő mozgatásával megolvasztottam a teljes darabot a tetejétől az aljáig. Az átolvasztás után 3 órán keresztül pihent az olvadék, hogy az áramlások minimálisra csökkenjenek.

A kristályosítást az olvasztásnál jóval alacsonyabb, 2-3mm/h-s állandó sebességgel végeztem a darab hosszában, amíg a egész darab kristályos nem lett. A kristályosítás befejezése után a teljes darab kb. 200K/h sebességgel szobahőmérsékletűre hűlt.

A hőmérséklet-gradiens (G) és a front mozgatási sebesség (v) változtatásával befolyásoltam a darabon belül keletkezett kristályok számát és minőségét (mozaicitását).

3.4.1 A kísérletek eredménye

A kísérletek célja annak a hőmérséklet gradiennek és frontmozgási sebességnek a megállapítása, amelynél az adott körülmények között

megfelelő mozaicitású egykristály növeszthető. A kísérletek során a következő paramétereket használtam:

- Hőmérséklet-gradiens[K/mm]: 3; 4; 6; 8
- Kristályosítási sebesség [mm/h]: 2; 3

Az UMC-vel elvégzett kísérletek mindegyike egykristályt eredményezett. A kristályok mozaicitásukban térnek el egymástól.

Az előállított kristályok mozaicitása a neutron-diffrakciós vizsgálatok szerint a darab hosszában. a kristályosítás kezdetétől a darab vége felé haladva növekszik:

G_{fal} =8 K/mm; G_{darab}=1,45: v=3 mm/h $\Delta\Theta = 1{,}6^o$-$2{,}9^o$

G_{fal} =6 K/mm; G_{darab}=1,35: v=3 mm/h $\Delta\Theta = 1{,}5^o$-$2{,}5^o$

G_{fal} =4 K/mm; G_{darab}=1,0: v=2 mm/h $\Delta\Theta = 1{,}2^o$-$1{,}9^o$

G_{fal} =2 K/mm; G_{darab}=0,4: v=2 mm/h $\Delta\Theta = 0{,}9^o$-$1{,}3^o$

Egy jó minőségű kristály mozaicitásának 0.25° és 1.5° között kell lennie, így a kísérletek alapján a hőmérséklet gradienst 3K/mm alatt kell tartanunk a kemence falán.

3.5. Orientált egykristályok előállítása

A röntgen Laue módszerrel orientált egykristályokból szikraforgácsolással 5*5*20mm-es magkristályokat szeltünk ki úgy, hogy az [111] irány merőleges legyen az 5*20mm-es oldallapok valamelyikére.

Az így előállított magkristályokat behelyeztem az alumínium-oxid kapszula aljába. Fölötte az előzőekhez hasonló módon kimunkált polikristályos darabot használtam.

A kísérletek az előzőekhez hasonló módon zajlottak le, azzal a különbséggel, hogy a magnak a felső felét kellett csak átolvasztani. Így a kapszula alján található, kristályos mag orientációjával megegyező orientációval nőtt tovább a darab teljes térfogatában.

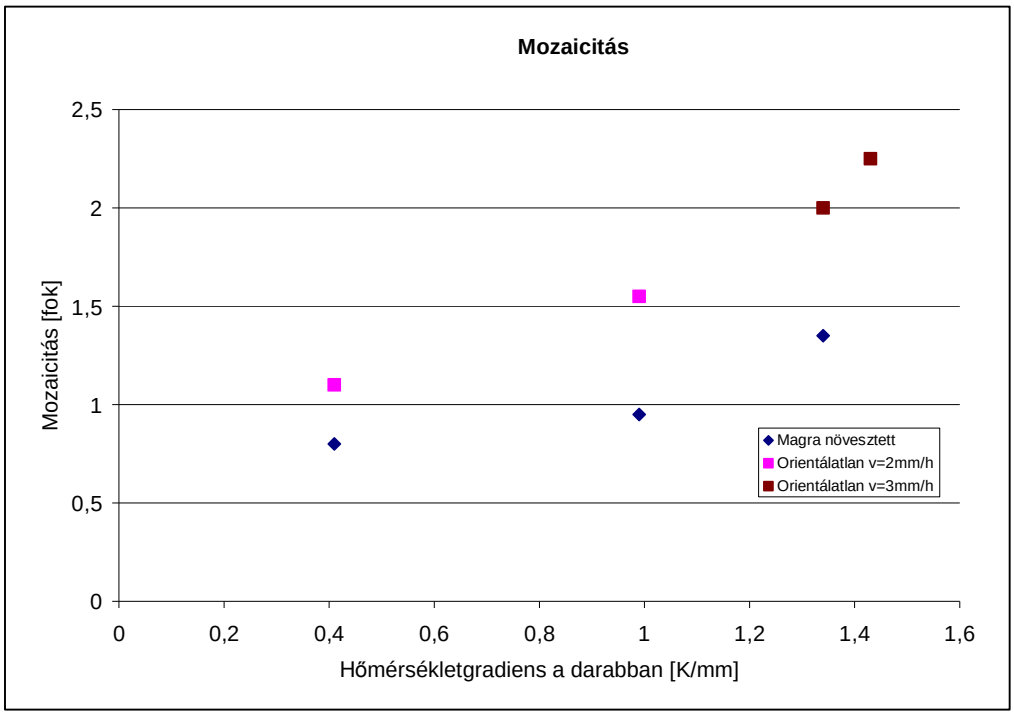
Fontos, hogy a hőmérséklet-lépcső mozgását a megfelelő helyen állítsuk meg, hisz a magnak csak egy része olvadhat meg. Ellenkező esetben vagy több kristályunk keletkezhet, vagy a keletkező egykristály orientációja nem befolyásolható. Ehhez úgy kellett megállítani a hőmérsékletlépcsőt, hogy a szolidusz hőmérséklet helye pontosan a mag felénél legyen. Az UMC-ben ezt a pontos szabályozásnak köszönhetően maradéktalanul meg tudtam valósítani.

3.5.1. A kísérletek eredménye

A kísérleteket a kemence falán mért 2, 4 illetve 6K/mm-es gradiens mellett 2mm/h-s frontmozgatási sebességgel végeztem. A darabokat az orientálatlan kristályokhoz hasonló módon vizsgáltam és minősítettem neutrondiffrakciós és röntgen-Laue módszerekkel. A vizsgálatok során kiderült, hogy a kristály testének az orientációja megegyezik magkristályok orientációjával, minőségük azonban jobb, mozaicitásuk kisebb, mint annak a kristálynak, amiből a magkristályt előállítottuk.

A hőmérséklet-gradiens növekedésével az alábbiak szerint változik a mozaicitás:

- 6 K/mm-es hőmérséklet-gradiens esetén $\Delta\Theta = 1{,}3°\text{-}1{,}4°$
- 4 K/mm-es hőmérséklet-gradiens esetén $\Delta\Theta = 0{,}9°\text{-}1{,}0°$
- 2 K/mm-es hőmérséklet-gradiens esetén $\Delta\Theta = 0{,}8°$



1. ábra Mozaicitások a kristályosítás során használt hőmérsékletgradiens függvényében

Az orientáltan növesztett kristályok minősítése és orientálása után a hengeres kristályokból lemezeket kellett kimunkálni, hogy monokromátorként alkalmazni lehessen. A monokromátor lemezekkel szemben kívánalom, hogy 5 mm vastagság mellett a lehető legnagyobb mérettel rendelkezzenek. A kristályok ridegsége, keménysége miatt, és mert az orientálás közben megállapított szögeket pontosan tartani kellett, a kristályok darabolását szikraforgácsolással végeztük el.

Az elkészült monokromátor lemezek orientációját ellenőriztem rtg.-Laue méréssel. A mérés eredmény az volt, hogy a lemez legnagyobb sík oldala, a lemez lapja párhuzamos az (111) síksorozattal.

A lemezek orientációjának ellenőrzése után neutrondiffrakciós vizsgálatok is készültek pirografittal monokromatizált neutronnyaláb alkalmazásával. Ezen vizsgálatok szerint a lemezek mozaicitása 18, 55, 65 szögperc, vagyis mindegyik megfelel az elvárásoknak.

A kísérletek és a mérések alapján a kristályok következő felépítését tartom valószínűnek.

A kristályok mozaik blokkokból állnak, amelyeknek a kristálytani orientációja kismértékben eltér egymástól. Ezekből az eltérésekből adódik, hogy a kristály más-más mozaikhoz tartozó része más-más hullámhosszúságú neutronokat reflektál azonos kristálytani síkok esetén is. Az, hogy ezek a síkok egymással milyen szöget zárnak be megadja a kristály mozaicitását. A síkok normálisainak eredője pedig megadja a kristály átlagos orientációját. A mérések alapján ez a mozaicitás a 23-26mm átmérőjű darabok esetén nem nagyobb, mint 20 szögperc.

Az, hogy a kristály mozaicitása ennél nagyobb is lehet, a fentebb már bemutatott kisszögű szemcsehatárok kialakulásának tulajdonítható. A kristály egy, esetleg több részének az orientációja nagyobb mértékben eltér az átlagos orientációtól létrehozva egy úgynevezett primer mozaik blokkot. Ez a blokk is szekunder mozaik blokkokból áll, de azok eredő normálisának iránya eltér a másik primer mozaikblokk eredő normálisának irányától. Akkor beszélhetünk kettő vagy több primer mozaik blokkról, ha azok az intenzitás eloszlás függvényen egyértelműen elkülöníthetők.

4. Új tudományos eredmények

1) Kidolgoztam egy komplex technológiát, amellyel a Cu2MnAl Heusler ötvözetből neutrondiffrakciós vizsgálatokhoz olyan orientált egykristályt lehet növeszteni amely képes a neutronsugár egyidejű monokromatizálására és polarizálására. A kidolgozott technológia az alábbi lépésekből áll:
    a. előötvözet készítés vákumindukciós berendezésben
    b. orientálatlan egykristály növesztés magkristály készítés céljára
    c. az egykristály orientációjának megállapítása rtg diffrakcióval
    d. orientált magkristály kivágása szikraforgácsolással
    e. orientált egykristály növesztése a mag részleges visszaolvasztásával
    f. az egykristály pontos orientációjának meghatározása rtg diffrakcióval
    g. a polarizátor/monokromátor eszközhöz szükséges lemezek orientált kivágása szikraforgácsolással
    h. a lemezek bevizsgálása neutron diffrakcióval.
2) Kísérletekkel igazoltam, hogy a Cu2MnAl képletű Heusler ötvözetből 2 mm/h frontmozgási sebességgel a darabban mért 0,4 - 1,4 K/mm hőmérséklet gradiens tartományban 25°-os kúpszögű alumínium-oxid kristályosító tégelyben egykristály növeszthető az irodalomból ismert kristályszelektor alkalmazása nélkül.
3) Kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a keletkezett egykristály mozaicitása 2 mm/h frontmozgási sebesség és 0,4 - 1,4 K/mm hőmérséklet gradiens alkalmazása mellett a hőmérséklet gradiens

növekedésével szigorúan monoton növekvő függvény szerint nő. A függvénykapcsolat felhasználható adott mozaicitással rendelkező egykristály készítéséhez szükséges hőmérséklet gradiens tervezéséhez.

4) A monokromátor/polarizátor lemezek akkor használhatók, ha a kristály mozaicitása 0,25 és 1,5 fok közötti érték. Megállapítottam, hogy olyan egykristályokat melyekből monokromátor/polarizátorként használható lemezeket lehet készíteni 2 mm/h front mozgási sebesség alkalmazása esetén a darabba mért 0,4 és 1,4 K/mm közötti hőmérséklet gradiens alkalmazásával lehet előállítani.

5) Méréseim alapján megállapítottam, hogy a Heusler ötvözetből növesztett egykristály kristályos szerkezete primer és szekunder mozaikblokkokból áll. A primer mozaik blokkokat szekunder mozaikblokkok alkotják. A szekunder mozaikblokkokon belül egy adott kristálytani síksorozatot alkotó síkok normálisai egymással párhuzamosak. Az azonos primer mozaikblokkhoz tartozó különböző szekunder blokkok normálisai egymással akkora szöget zárnak be, hogy az eltérés által okozott mozaicitás nem nagyobb, mint 20 szögperc. A normális vektorok összege adja az adott primer blokk eredő normálisát. A primer mozaikblokkok normálisai által bezárt szög nagyobb mint 20 szögperces mozaicitást okoz. A kristály mozaicitását a primer és a szekunder mozaikblokkok együttesen eredményezik.

5. Az új tudományos eredmények gyakorlati alkalmazhatósága

Az általam javasolt technológiával előállítható olyan monokromátor/polarizátor, ami az ilyen monokromátorokkal szemben támasztott feltételeknek megfelel.

Az előállított lemezek alkalmazhatóak olyan neutrondiffrakciós vizsgálatoknál, ahol szükséges a neutronnyaláb egyidejű monokromatizálása és polarizálása.

A komplex kristálynövesztési technológia felhasználható más ötvözetek esetében is orientált egykristályok készítésére.

6. Publikációs jegyzék

Előadások:

- Veres Zsolt: Heusler ötvözet kristályosítása
  2001. szeptember 11.-12: Miskolci Egyetem, Anyag- és Kohómérnöki Karának Tudományos Ülésszaka, Miskolc MAB Székház
- Veres Zs.- Roósz A.: Heusler-ötvözet kristályosítása
  2001. október 14-17.; Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás, Balatonfüred
- Veres Zs.- Szőke J.- Roósz A.: Heusler-ötvözet kristályosítása
  2001. november 6.: Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem
- Veres Zs.: Tapasztalatok az USKI sokzónás kemence szabályozásánál
  2002. április 12-14:Tavaszi Szél 2002, Gödöllő
- Zs. Veres – J. Szőke – A. Roósz : Solidification of Heusler-alloy
  2002. szeptember 1-5.: JuniorEuromat, Lausanne, Svájc
- Veres Zs.- Szőke J.- Roósz A.: Heusler-ötvözet kristályosítása
  2002. szeptember 16.: PhD hallgatók anyagtudományi napja (II), Veszprém
- Veres Zs.: Heusler-ötvözet kristályosítása
  2002. november 6.: Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem
- Veres Zsolt, Roósz András: Heusler ötvözet kristályosítása VIII. FMTÜ Kolozsvár 2003.03.21-22
- Veres Zsolt: Egykristály előállítása Heusler-ötvözetből Kutatószeminárium Miskolci Egyetem Anyagtudományi intézet Fémtani Tanszék Miskolc 2003.05.05.
- Veres Zsolt, Roósz András Egykristály előállítása Heusler-ötvözetből, Miskolci Egyetem Anyag- és Kohómérnöki karának tudományos ülésszaka Miskolc 2003.09.04-05
- Veres Zsolt, Roósz András: Egykristály előállítása Heusler-ötvözetből, Production of single crystal heusler alloy OAAAKK Balatonfüred 2003.10.12-14
- Veres Zsolt: Egykristály előállítása Heusler-ötvözetből, Doktoranduszok fóruma, Miskolc, 2003.11.06
- Veres Zsolt, Roósz András: Egykristály előállítása Heusler ötvözetből,

IX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, 2004. március 26-27

- Veres Zsolt, Roósz András, Production of Single Crystal Heusler AlloyIII. Solidification and Gravity 2004 Miskolc-Lilafüred 2004.09.06-09
- Zsolt Veres, András Roósz, Producing of a single crystal monochromator from Heusler alloy, Solidification processing 07 Sheffield 2007.07.23-25
- Zsolt Veres, András Roósz, Producing of single crystal monochromator from Heusler alloy, IV. Solidification and Gravity 2008 Miskolc-Lilafüred 08.09.01-04

Cikkek:

- Veres Zs. – Roósz A.: Egykristály készítése Heusler-ötvözetből, Production of single cryistal from Heusler Alloy A Miskolci Egyetem Közleményei, Anyag és Kohómérnöki Tudományok, Miskolc, 30. kötet (2002) pp.109-121
- Veres Zsolt, Roósz András: Heusler ötvözet kristályosítása VIII. FMTÜ Kolozsvár pp.311-314 2003.03.21-22
- Veres Zsolt, Roósz András, Egykristály előállítása Heusler ötvözetből, IX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár 2004 pp. 187-190
- Veres Zsolt, Roósz András, Producing of singlecrystal from Heusler alloy, Materials Sience Forum 2003. pp. 171-177
- Veres Zsolt, Roósz András, Producing a Heusler alloy single crystal, Materials Sience Forum vol. 508 2006. pp. 125-130
- Veres Zsolt, Roósz András, Egykristálykészítés az univerzális sokzónás kristályosítóban, Bányászati és kohászati lapok Kohászat, 138. évfolyam, 5.szám, pp. 41-45
- Zsolt Veres, András Roósz, Producing of a single crystal monochromator from Heusler alloy, Proceeding of the 5th Decennial International Conference on Solidifiction Processing, 2007, pp. 117-120