ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

تحديد شروط تصنيع سبائك هويسلر المعدنية تحت تأثير الذبذبات الاهتزازية

Шматок Евгений Викторович
Магистр технических наук, соискатель, БГУИР

Аннотация: *Исследованы режимы синтеза интерметаллических сплавов Гейслера стехиометрического состава $Ni_{50}Mn_{25}Ga_{25}$. Показано, что на улучшение гомогенности химического состава поликристаллических черновых слитков оказывает влияние вибрационные колебания с частотой от 600 Гц в процессе его синтеза. Однородность и гомогенность монокристаллов, прошедших отжиг длительностью 100ч при 1000°С, улучшается, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального и рентгеновского анализов.*

Ключевые слова: *монокристалл, полупроводники, синтез, Ni_2MnGa.*

научный руководитель

Врублевский Игорь Альфонсович
к.т.н., доцент
Зав. НИЛ«Многофункциональные металлооксидные композитные материалы» БГУИР

الشرف العلمي

إيفجيني فيكتوروفيتش شماتوك
ماجستير في العلوم التقنية، باحث ، جامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات والمعلوماتية

الخلاصة : تم التحقيق في طرق تخليق سبائك هويسلر المعدنية ذات التركيب المتكافئ $Ni_{50}Mn_{25}Ga_{25}$. وقد تبين أن تذبذبات الاهتزاز بتردد 600 هرتز أثناء عملية التخليق لها تأثير على تحسين تجانس التركيب الكيميائي للسبائك الخام متعددة البلورات. تتحسن تجانس وتوحيد البلورات المفردة التي تم نقعها لمدة 100 ساعة في درجة حرارة 1000 درجة مئوية، وهو ما تؤكده نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية الدقيقة والأشعة السينية.

الكلمات المفتاحية : أحادي البلورة ، أشباه الموصلات، التخليق(التركيب)، *Ni_2MnGa*.

د. إيجور ألفونسوفيتش فروبليفسكي
أستاذ مشارك رئيس مختبر الأبحاث "مواد مركبة من أكسيد المعادن متعددة الوظائف" التابع لجامعة بيلاروسيا الحكومية للاتصالات والمعلوماتية

Введение

Качество характеристик сплава во многом зависит от метода его получения [1]. Для использования монокристаллов в качестве преобразователей линейных и угловых перемещений, особую роль играют характеристики подвижности границы аустенитно-мартенситных превращений [2]. В свою очередь, подвижность зависит от многих параметров, в том числе технологических: гомогенность распределения легирующих компонентов и их соединений (стехиометричность), температурные режимы синтеза, отжига, старения, ориентация кристаллографических плоскостей и т.д. [3]. В связи с этим, целью настоящей работы было исследование режимов выращивания, монокристаллов Гейслера стехиометрического состава на основе технологии зонной плавки из черновых поликристаллических слитков, синтезированных в условиях воздействия вибрационных колебаний, для достижения максимальных показателей подвижности аустенитно-мартенситной границы.

المقدمة

تعتمد جودة خصائص السبائك إلى حد كبير على طريقة إنتاجها [1]. لاستخدام البلورات المفردة كمحولات للإزاحات الخطية والزاوية، تلعب خصائص حركة حدود التحولات الأوستنيتية المارتنسيتية دورًا خاصًا [2]. بدورها، تعتمد الحركة على العديد من المعلمات، بما في ذلك المعلمات التكنولوجية: تجانس توزيع مكونات السبائك ومركباتها (القياسات المتكافئة)، وظروف درجة حرارة التركيب، والتلدين، والشيخوخة، واتجاه المستويات البلورية، وما إلى ذلك [3]. في هذا الصدد، كان الغرض من هذا العمل دراسة أنماط نمو بلورات هويسلر المفردة ذات التركيب المتكافئ بناءً على تقنية ذوبان المنطقة من سبائك متعددة البلورات خشنة تم تصنيعها تحت تأثير تذبذبات الاهتزاز من أجل تحقيق أقصى مؤشرات للحركة للحدود الأوستنيتية المارتنسيتية.

Результаты и обсуждение

В результате проведённой работы, было отмечено несколько ключевых моментов для получения кристаллов стехиометрического или почти стехиометрического состава:

I. Подготовка: а) чистота компонентов не ниже 99.7% [1]; б) сплавление в черновые поликристаллические слитки должно обеспечивать гомогенность элементов по объёму [1]. В работе сплавление дополнялось вибрационным воздействием 600Гц, в течение 5 мин [4]; в) во избежание улетучивания Mn, все операции сплавления выполняются в закрытых тиглях в присутствии аргона [1]. г) материал тигля - кварцевое стекло.

II. Плавка: а) температура сплавления 1600-1800°С; б) метод сплавления черновых слитков - индукционный [1]; для направленной кристаллизации - зонная плавка [4]; в) конструкция печи направленной кристаллизации должна обеспечивать температурную двухзонность с резким перепадом [1] и небольшой шириной интерфейса солид-ликвид [1,4] - Рис1.

III. Рост кристалла. Большую роль играет форма интерфейса солид-ликвид в зоне кристаллизации [1] - Рис1. Плоский либо слегка выпуклый фронт важен, поскольку вогнутая форма приводит к росту зерен по направлению к центральной оси стержней [1,4] - Рис1.

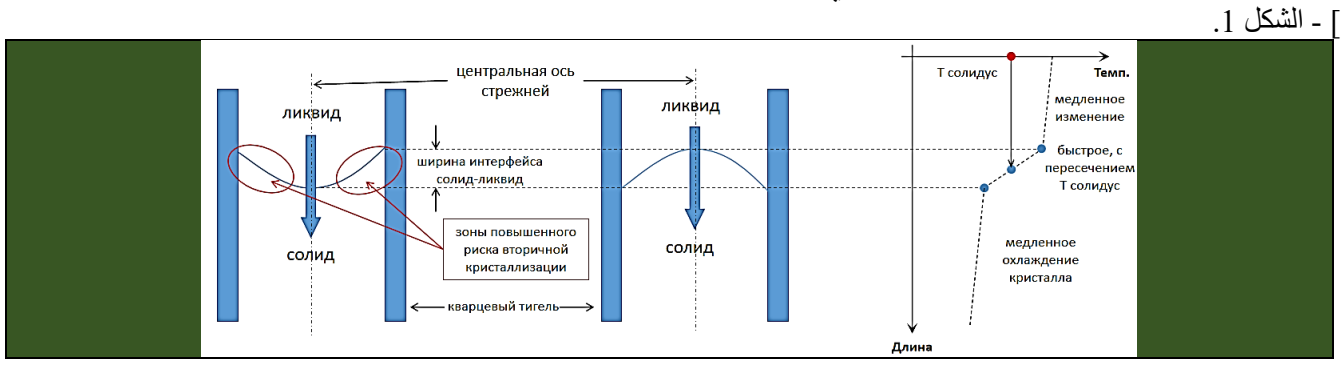
النتائج والمناقشة

وكنتيجة للعمل الذي تم إنجازه، تم ملاحظة عدة نقاط رئيسية للحصول على بلورات ذات تركيبة متجانسة أو شبه متجانسة:

I. التحضير: أ) نقاء المكونات لا يقل عن 99.7% [1]؛ ب) يجب أن يضمن الصهر في سبائك متعددة البلورات الخام تجانس العناصر من حيث الحجم [1]. في العمل، تم استكمال الاندماج عن طريق التعرض للاهتزاز عند 600 هرتز لمدة 5 دقائق [4]؛ ج) لتجنب تطاير المنغنيز، يتم إجراء جميع عمليات الاندماج في بوتقات مغلقة في وجود الأرجون [1]. د) مادة البوتقة - زجاج الكوارتز.

II. الانصهار: أ) درجة الانصهار 1600-1800 درجة مئوية؛ ب) طريقة صهر السبائك الخام هي الحث [1]؛ للتبلور الاتجاهي - ذوبان المنطقة [4]؛ ج) يجب أن يضمن تصميم فرن التبلور الاتجاهي درجة حرارة منطقتين مع انخفاض حاد [1] وعرض صغير لواجهة السائل الصلب [1،4] - الشكل 1.

III. نمو البلورات. يلعب شكل الواجهة الصلبة والسائلة في منطقة التبلور دورًا رئيسيًا [1] - الشكل 1. تعتبر الجبهة المسطحة أو المحدبة قليلاً مهمة لأن الشكل المقعر يؤدي إلى نمو الحبوب باتجاه المحور المركزي للقضبان [1،4] - الشكل 1.



а б *в*

а- вогнутый интерфейс, б- выпуклый интерфейс, в- условный график изменения температуры в зоне кристаллизации
Рис 1- форма интерфейса солид-ликвид в зоне кристаллизации монокристалла Ni2MnGa

أ- واجهة مقعرة، ب- واجهة محدبة، ج- رسم بياني مشروط لتغير درجة الحرارة في منطقة التبلور

الشكل 1 - شكل الواجهة الصلبة-السائلة في منطقة التبلور لبلورة واحدة من Ni2MnGa

IV. Отжиг и старение снижают напряжения кристалла [1] и гомогенизируют легирующие элементы [3], увеличивают подвижность границы аустенитно-мартенситных превращений [2] и стабилизируют эффект памяти формы [3]. В данной работе, в экспериментальных целях, образцы отжигались при 1000…1050°С в течение 100ч.

V. Финишная подготовка и анализ: а) оптическая металлография, для определения количества зерен и формы границы солид-ликвид [4]; б) рентгеновским дифрактометром проверяется ориентация кристаллических плоскостей [4]; в) химический состав исследован микрорентгеноспектральным и рентгеновским анализами; г) образец нарезался электроискровым методом [4].

IV. تعمل عملية التلدين والشيخوخة على تقليل إجهاد البلورة [1] وتجانس عناصر السبائك [3]، وزيادة حركة حدود تحويل الأوستينيت - المارتنسيت [2] وتثبيت تأثير ذاكرة الشكل [3]. في هذا العمل، ولأغراض تجريبية، تم تسخين العينات عند درجة حرارة 1000...1050 درجة مئوية لمدة 100 ساعة.

V. التحضير والتحليل النهائي: أ) التصوير المعدني الضوئي، لتحديد عدد الحبيبات وشكل الحدود الصلبة والسائلة [4]؛ ب) يتم التحقق من اتجاه مستويات البلورة باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية [4]؛ ج) تمت دراسة التركيب الكيميائي عن طريق التحليل الطيفي للأشعة السينية الدقيقة والأشعة السينية؛ د) تم قطع العينة باستخدام طريقة الشرارة الكهربائية [4].

Заключение

В результате проведенной работы исследованы режимы синтеза интерметаллических сплавов Гейслера стехиометрического состава Ni50Mn25Ga25, полученного при помощи технологии зонной плавки из черновых поликристаллических слитков, синтезированных в условиях воздействия вибрационных колебаний. Установлено, что улучшение гомогенности химического состава поликристаллических черновых слитков проявляется при частоте колебаний от 600Гц. Однородность и гомогенность монокристаллов, прошедших отжиг длительностью 100ч при 1000°С улучшилась, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального и рентгеновского анализов.

الخاتمة

نتيجة للعمل الذي تم إجراؤه، تم التحقيق في طرق تركيب سبائك هويسلر المعدنية ذات التركيب المتكافئ Ni50Mn25Ga25 التي تم الحصول عليها باستخدام تقنية الصهر الإقليمي من سبائك متعددة البلورات خشنة تم تصنيعها في ظل ظروف تذبذبات الاهتزاز. لقد ثبت أن التحسن في تجانس التركيب الكيميائي للسبائك الخام متعددة البلورات يكون واضحًا عند تردد تذبذب 600 هرتز. تحسن التجانس وتوحيد البلورات المفردة التي تم نقعها لمدة 100 ساعة عند 1000 درجة مئوية، وهو ما تؤكده نتائج التحليل الطيفي للأشعة السينية الدقيقة والأشعة السينية.

Литература المراجع والمصادر

1. Мурашкевич А.Н. Теория и методы выращивания монокристаллов // Минск : БГТУ, 2010. - с. 100-178.
2. Aaltio I. Role of twin boundary mobility in performance of the Ni-Mn-Ga single crystals // Aalto University, DOCTORAL DISS., 2011 - p. 109.
3. Leon M. Cheng Magneto-Mechanical Response in Ni-MnGa Magnetic Shape Memory Alloys // Report Defence R&D Canada, 2004 - p. 46.
4. Wang J. Single-crystal growth of NiMnGa magnetic shape memory alloys // Journal of Crystal Growth, 310, 2008 - p. 865–869.