



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 425 793** (13) **C1**

(51) МПК  
**B82B 1/00** (2006.01)  
**B82B 3/00** (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010101258/28, 19.01.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.01.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.01.2010

(45) Опубликовано: 10.08.2011 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 5917195 A, 29.06.1999. US 5023139 A,  
11.06.1991. RU 2355471 C1, 20.05.2009.

Адрес для переписки:

117312, Москва, В-312, пр-кт 60-летия  
Октября, 7а, Учреждение Российской  
академии наук Институт ядерных  
исследований РАН (ИЯИ РАН), отдел  
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Кравчук Леонид Владимирович (RU),  
Лебедев Сергей Григорьевич (RU),  
Андреев Владимир Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Учреждение Российской академии наук  
Институт ядерных исследований РАН (ИЯИ  
РАН) (RU)

## (54) НАНОКОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ФОНОННЫХ РЕЗОНАТОРОВ И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

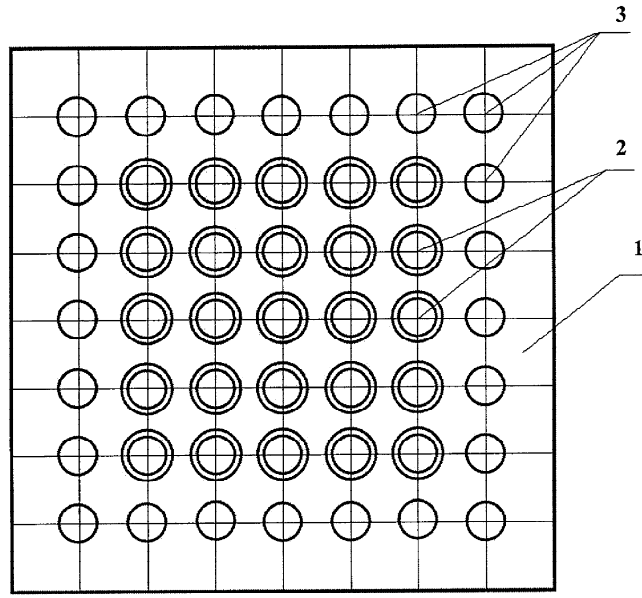
(57) Реферат:

Изобретение относится к области наноразмерных и наноструктурированных материалов. Технический результат - увеличение эффекта резонансного усиления электрон-фононного взаимодействия, расширение спектра усиливаемых фононов и переход к трехмерной структуре путем создания нового нанокompозита. Способ получения нанокompозита на основе фононных резонаторов заключается в том, что получают нанопорошок из электропроводящего материала, отбирают наночастицы кристаллитов электропроводящего материала с размерами в интервале от 3 до 20 нанометров, поверхность каждой из отобранных наночастиц кристаллита электропроводящего

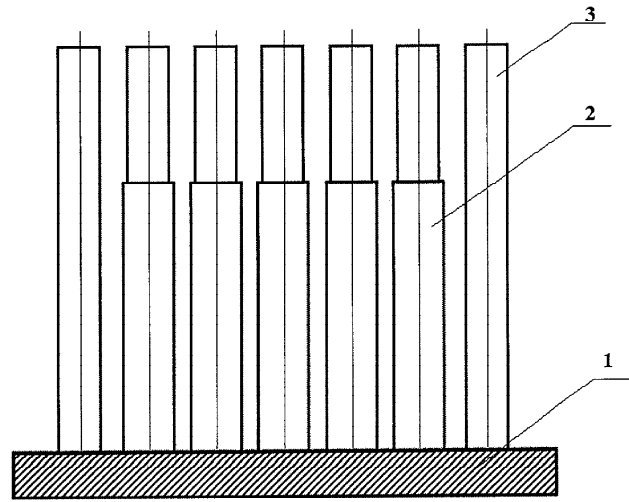
материала покрывают оболочкой в виде слоя другого электропроводящего материала с атомной (молекулярной) массой, большей атомной (молекулярной) массы материала кристаллита, и с толщиной слоя, не превышающей радиуса кристаллита, причем выполняется условие  $1/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $h_F$  - длина пробега фононов в кристаллите,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная (молекулярная) масса материала кристаллита, и уплотняют полученный порошок покрытых оболочкой наночастиц под давлением или спеканием до образования проводящего объемного нанокompозита. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2 4 2 5 7 9 3 C 1

RU 2 4 2 5 7 9 3 C 1



a



б



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
**B82B 1/00** (2006.01)  
**B82B 3/00** (2006.01)

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2010101258/28, 19.01.2010

(24) Effective date for property rights:  
19.01.2010

Priority:

(22) Date of filing: 19.01.2010

(45) Date of publication: 10.08.2011 Bull. 22

Mail address:

117312, Moskva, V-312, pr-kt 60-letija Oktjabrja,  
7a, Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk  
Institut jadernykh issledovanij RAN (IJaI RAN),  
otdel intellektual'noj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Kravchuk Leonid Vladimirovich (RU),  
Lebedev Sergej Grigor'evich (RU),  
Andreev Vladimir Grigor'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut  
jadernykh issledovanij RAN (IJaI RAN) (RU)

## (54) NANO COMPOSITE BUILT AROUND PHONON RESONATOR AND METHOD OF ITS PRODUCTION

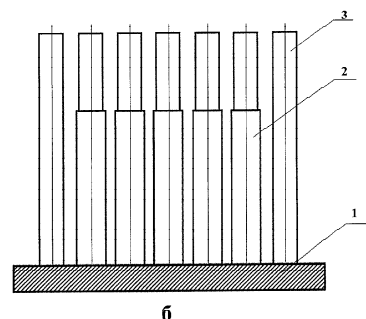
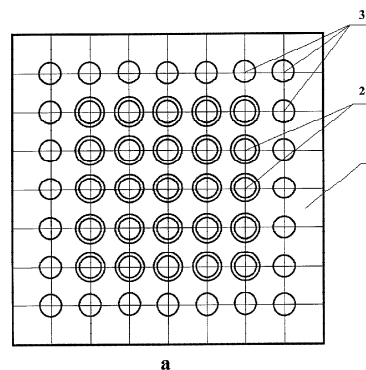
(57) Abstract:

FIELD: nanotechnologies.

SUBSTANCE: proposed method comprises producing nano powder from electrically conducting material, material crystallite nanoparticles with sizes varying from 3 to 20 nm are selected, surface of each said particle is coated by layer of another electrically conducting material with atomic (molecular) weight exceeding that of crystallite material and layer thickness not exceeding crystallite radius. Note here that condition  $1/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$  is obeyed where  $h_F$  is phonon path in crystallite,  $\Delta M$  is difference in molecular (atomic) weights,  $\lambda_F$  is phonon wave length,  $M$  is atomic (molecular) weight. Powder of produced coated nanoparticles is compacted at pressure or by sintering to produce conducting solid nano composite.

EFFECT: higher resonance amplification of electron-phonon interaction, transition to 3D structure via new nano composite.

14 cl, 2 dwg



Изобретение относится к области наноразмерных и наноструктурированных материалов, а именно к области новых материалов и сплавов со специальными свойствами для применения в микро- и наноэлектронике, в частности к композитным материалам, в которых использовано усиление электрон-фононного взаимодействия в конденсированных средах и, как следствие, усиление электрических, тепловых и оптических свойств композитных материалов, а также изделий и устройств, созданных на их основе.

Известен нанокompозит и способ его получения [Кравченко Т.А. и др. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТА. Патент РФ №2355471 (20.05.2009), В01J 39/08, В82В 3/00], заключающийся в осаждении меди в неэлектропроводящий ионообменник с формированием равномерно распределенных по объему пор гранулы ионообменника наноструктурных частиц металла. Недостатками нанокompозита и способа его получения являются неперидичность самих пор в гранулах ионообменника и самих гранул и, как следствие, неперидичность наноструктурных частиц металла, а также неэлектропроводность материала ионообменника, что не позволяет использовать наночастицы в качестве фононных резонаторов и для получения нанокompозита на их основе.

Известен нанокompозит [Birnbom at al. NONLINEAR OPTICAL MATERIALS. US Patent 5023139 (11.06.1991), В23В 9/00] и способ его получения, содержащий распределенные в диэлектрическом материале наночастицы, выполненные в виде металлического ядра с оболочкой из диэлектрического материала или в виде диэлектрического ядра с оболочкой из металла, и представляющий нелинейный оптический материал. Недостатками нанокompозита и способа его получения являются неэлектропроводность нанокompозита, неперидичность наночастиц и невозможность образования стоячих резонансных фононных волн в таких наночастицах, что также не позволяет их использовать в качестве фононных резонаторов и для получения нанокompозита на их основе.

Известен фононный резонатор и способ его получения [T.G.Brown. PHONON RESONATOR AND METHOD FOR ITS PRODUCTION. US Patent 5917195 (21.06.1999), H01L 29/15], описывающий сверхрешетку из чередующихся слоев, обогащенных различными изотопами кремния, с периодически меняющейся плотностью, которая играет роль резонатора для фононов, участвующих в электрон-фононном взаимодействии. В частности, в таком фононном резонаторе резонансным образом усиливаются фононы с волновыми векторами, соответствующими межзонным переходам, а также переходам между различными вырожденными участками зоны проводимости. Недостатками такого фононного резонатора и способа его получения являются малый эффект резонансного усиления из-за разницы масс изотопов чередующихся слоев (от 3 до 6%), одномерность структуры чередующихся слоев и сложность их приготовления, а также ограниченность выбора полупроводника кремния в качестве основного элемента структуры.

Технический результат данного изобретения заключается в увеличении эффекта резонансного усиления электрон-фононного взаимодействия, расширении спектра усиливаемых фононов и переходе к трехмерной структуре путем создания нового нанокompозита, который мог бы быть охарактеризован наличием фононных резонаторов в своем составе при широком варьировании конечных свойств композита. Переход к трехмерной наноструктуре позволяет получить конечное число гармонических мод колебаний. При этом спектр колебаний становится дискретным, а отдельные моды колебаний не взаимодействуют друг с другом, что значительно

усиливает все фонономодулированные процессы в нанокompозите.

Технический результат данного изобретения заключается также в упрощении процесса получения фононных резонаторов и образования нанокompозита на их основе.

5 Технический результат достигается тем, что предложен нанокompозит на основе фононных резонаторов, характеризующийся тем, что он включает фононные резонаторы, выполненные из электропроводящего материала в виде кристаллитов с размерами в интервале от 3 до 20 нанометров, поверхность которых покрыта  
10 оболочкой в виде слоя другого электропроводящего материала с атомной (молекулярной) массой, большей атомной (молекулярной) массы материала кристаллита, при этом толщина слоя не превышает радиуса кристаллита и выполняется условие  $1/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $h_F$  - длина пробега фононов в кристаллите,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала  
15 кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная (молекулярная) масса материала кристаллита, причем расстояние между кристаллитами, покрытыми оболочкой, выбрано такое, чтобы обеспечить электропроводность объемного нанокompозита.

При этом в качестве кристаллитов электропроводящего материала использованы  
20 кристаллиты, по крайней мере, одного из металлов группы: Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, сплава или полупроводника, а в качестве электропроводящего материала оболочки использован, по крайней мере, один из металлов группы: Pb, Sn, Ag, Au, Pt, W, In, Cs, Ba, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Tl, La, Ce, Sm, сплав, полупроводник или проводящий органический материал, причем для электропроводящего материала оболочки  
25 величина отношения  $\Delta M / M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $\Delta M / M > 1$  или неравенству  $1 < \Delta M / M < 2$ .

Технический результат достигается также тем, что предложен способ получения нанокompозита на основе фононных резонаторов, заключающийся в том, что  
30 получают нанопорошок из электропроводящего материала, отбирают наночастицы кристаллитов электропроводящего материала с размерами в интервале от 3 до 20 нанометров, поверхность каждой из отобранных наночастиц кристаллита электропроводящего материала покрывают оболочкой в виде слоя другого электропроводящего материала с атомной (молекулярной) массой, большей атомной  
35 (молекулярной) массы материала кристаллита, и с толщиной слоя, не превышающей радиуса кристаллита, причем выполняется условие  $1/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $h_F$  - длина пробега фононов в кристаллите,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная  
40 (молекулярная) масса материала кристаллита, и уплотняют полученный порошок покрытых оболочкой наночастиц под давлением или спеканием до образования проводящего объемного нанокompозита.

При этом в качестве кристаллитов электропроводящего материала используют кристаллиты, по крайней мере, одного из металлов группы: Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu,  
45 Zn, сплава или полупроводника, а в качестве электропроводящего материала оболочки используют, по крайней мере, один из металлов группы: Pb, Sn, Ag, Au, Pt, W, In, Cs, Ba, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Tl, La, Ce, Sm, сплав, полупроводник или проводящий органический материал, причем для электропроводящего материала оболочки  
50 величина отношения  $\Delta M / M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $\Delta M / M > 1$  или неравенству  $1 < \Delta M / M < 2$ .

Достижение нового технического результата стало возможным благодаря тому, что в качестве основного элемента структуры композита предлагается использовать

наноразмерные кристаллиты различных химических элементов, покрытые нанооболочками из химических элементов с большим атомным весом, чем у основного элемента. Вид химических элементов, размеры нанокристаллов, толщины оболочек, плотности материалов кристаллитов и оболочек подбираются так, чтобы

5 обеспечить усиление электрон-фононного взаимодействия в нужном диапазоне волновых векторов, соответствующих наиболее благоприятным модам электрон-фононного взаимодействия, определяющим электрические, и/или тепловые, и/или оптические свойства композитного материала.

10 Сущность заявленного нанокompозита на основе фононных резонаторов и способа его получения поясняется прилагаемым чертежом.

На чертеже показана электродинамическая модель фононного резонатора: а - вид сверху, б - вид спереди; 1 - монтажная проводящая пластина, 2 - четвертьволновые резонаторы двумерной системы, 3 - периферийные проводящие стержни в двумерной

15 системе.

Возможность осуществления заявленного нанокompозита на основе фононных резонаторов и способа его получения подтверждается следующими пояснениями и примером.

20 Единственной модой высокочастотных фононных колебаний, которые могут быть получены в металлических устройствах, изготовленных с использованием традиционных технологических процессов производства, является мода бегущих волн. В этих условиях любое возмущение в точке внутри кристалла будет распространяться с рассеиванием во всех направлениях от этой точки и никогда не вернется. В режиме

25 рассеивающейся бегущей волны поля фононных колебаний являются случайными. Мы будем рассматривать возможность замены режима бегущих рассеивающихся волн режимом стоячих волн резонансных колебаний. Эта замена приводит к определенным изменениям в характере взаимодействия между электронами проводимости и

30 решеткой. В частности, это взаимодействие происходит на дискретных частотах, соответствующих резонансным частотам фононных мод. Электроны проводимости взаимодействуют с почти согласованными (гармоническими) полями, а не случайными полями, т.е. происходит так называемое согласование («гармонизация») полей фононных колебаний.

35 Стоячие фононные волны могут быть возбуждены в проводнике при выполнении, по крайней мере, двух условий. Первое - это отсутствие перекрытия между соседними модами.

Переход к трехмерной наноструктуре с конечным числом атомов позволяет

40 получить конечное число гармонических мод колебаний. При этом спектр колебаний становится дискретным, а отдельные моды колебаний не взаимодействуют друг с другом, что значительно усиливает все фономодулированные процессы в кристалле.

С уменьшением размера кристаллитов количество образующих его атомов уменьшается пропорционально кубу линейного размера. С уменьшением числа

45 атомов в кристаллите число мод колебаний кристаллической решетки также уменьшается. Нанокристалл размером 2-3 нм состоит из  $N \sim 100-150$  атомов. Полное число мод колебаний решетки такого кристаллита  $3N = 300-450$ .

При таком малом числе колебательные моды являются изолированными

50 относительно друг друга и не взаимодействуют между собой. В таком случае спектр колебаний отдельных нанокристаллов является полностью гармоническим и такой композит, например, не будет подвержен тепловому расширению (т.к. ангармонизм колебаний отсутствует).

Вторым условием является обеспечение объединения фононных колебаний в кристаллите. С этой точки зрения интерес представляют композиты из нанокристаллитов, внешняя поверхность каждого из которых покрыта тонкой (в несколько атомных слоев) оболочкой элемента с более высоким атомным весом для отражения звуковой волны от поверхности нанокристаллита. Если нанокристаллит изолирован, то энергия фононных колебаний не будет излучаться в окружающее пространство. Это требование может быть удовлетворено, если поверхность кристаллита защищена экраном, который отражает обратно в кристаллит все волны падающих фононов. Такой нанокристаллит с экранированной поверхностью называют «фононным резонатором». В устройстве из фононных резонаторов связь мод от соседних полостей либо полностью устранена, или сильно подавлена экранами. Такой «упакованный» нанокристаллит получил название «фононный резонатор» из-за того, что в нем могут поддерживаться резонансные колебания в диапазоне частот между предельной частотой колебаний решетки нанокристаллита и предельной частотой колебаний атомов оболочки. Внутри нанокристаллита будет образовываться стоячая волна на резонансных частотах. Резонансные колебания, как известно, чрезвычайно усиливаются на фоне других частот, поэтому все фономодулированные процессы на частотах, попадающих в резонансную область конкретных фононных резонаторов, будут резонансным образом усилены, что подтверждает возможность усиления эффекта резонансного электрон-фононного взаимодействия и достижение заявленного технического результата.

Структура нанокompозита в настоящем изобретении будет выполнять функцию эффективного резонатора в случае, если средняя длина пробега фонона  $h_F$  достаточно велика так, что фонон слабо рассеивается внутри нанокристаллитов. Т.е. если выполняется условие:  $1/h_F \ll k_F = \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $k_F$  - коэффициент связи между фононами, падающими и отраженными от экрана-оболочки,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная (молекулярная) масса материала кристаллита. Если это соотношение не выполняется, то фонон испытает рассеяние раньше, чем происходит Брегговское отражение от экрана-оболочки.

Выбор величин  $M$  и  $\Delta M$  обусловлен сложными процессами распространения и рассеяния фононов в нанокompозите, а также их взаимодействием с электронной подсистемой. Отношение  $\Delta M/M$  определяет долю фононов, испытавших отражение от экрана. При этом  $(1-\Delta M/M)$  фононов покинет нанокристаллит, не испытав отражения, и попадет в следующие нанокристаллиты по ходу своего распространения. Т.е. величина  $\Delta M/M$  регулирует соотношение между количеством мод стоячих и бегущих волн.

Режим  $0 \leq \Delta M/M \leq 1$  характеризуется вовлеченностью как бегущих, так и стоячих волн в процессы фононного обмена. Данный случай при весьма малых  $\Delta M/M \sim 3-6\%$  рассмотрен в [T.G.Brown. PHONON RESONATOR AND METHOD FOR ITS PRODUCTION. US Patent 5917195 (21.06.1999), H01L 29/15]. Случай малых  $\Delta M/M$  характеризуется относительно малым отражением на экранах, что ведет к малому усилению резонансных мод в отдельных нанокристаллитах. В случае  $\Delta M/M > 1$  осуществляется режим стоячих волн, при котором происходит усиление фононов в отдельных нанокристаллитах за счет резонанса между падающей и отраженной волнами. При этом доля фононов, проходящая в следующий кристаллит без отражения, также разбивается на стоячие и бегущие моды и т.д., создавая по пути своего следования стоячие резонансные моды в соседних кристаллитах до полного

поглощения первоначальной волны в нанокompозите. Однако при больших значениях  $\Delta M/M$  и, соответственно, большем отражении от экранов-оболочек стоячие волны присутствует только в самих нанокристаллитах, при этом в целом в композите глобальное усиление стоячих волн отсутствует. Тем не менее, при достаточно тонких  
5 экранов-оболочках электроны, связанные фононным обменом, могут квантовым образом туннелировать между соседними кристаллитами, обеспечивая глобальную фазовую когерентность во всем нанокompозите, как это имеет место в гранулярных сверхпроводниках.

10 Таким образом, оптимальным является режим, при котором наблюдается усиление фононов, т.е. при  $\Delta M/M > 1$  или, предпочтительно, когда  $1 < \Delta M/M < 2$ .

При этом становится принципиально важным обеспечить толщины оболочек-экранов на уровне в несколько атомных слоев, чтобы доля фононов, проходящая в  
15 следующий кристаллит без отражения, незначительно уменьшалась за счет процессов поглощения или рассеяния волн в материале оболочки. Это достигается при выполнении условия о толщине слоя оболочки, не превышающей радиуса кристаллита, причем расстояние между кристаллитами, покрытыми оболочкой, выбрано такое, чтобы обеспечить электропроводность объемного нанокompозита, т.е.  
20 возможность распространения фононов во всех направлениях для обеспечения глобального усиления стоячих волн в нанокompозите.

#### Пример

Поиски подходящего материала для оболочки фононного резонатора можно  
25 производить различными способами. Мы решили ограничиться электродинамическим моделированием процессов в фононном резонаторе. Для этой цели кристалл фононного резонатора представляют в виде двумерного набора связанных четвертьволновых резонаторов 2, смонтированных на проводящей пластине 1, каждый из которых моделирует поведение атома в кристаллической решетке (см.  
30 чертеж). Этот набор резонаторов окружают по периферии проводящими стержнями 3 для предотвращения потерь электромагнитного излучения. Каждый стержень 3 имеет длину, в 1,5 раз большую, чем резонатор 2. На микроуровне эти стержни будут аналогом атомов экрана-оболочки с массой, большей, чем масса атомов нанокристалла. Если используется медный нанокристалл фононного резонатора, то  
35 более дюжины металлов могут быть использованы в качестве оболочки-экрана. Этот список включает как обычные металлы, широко использующиеся в промышленности, такие как: свинец, олово, серебро, золото, платина, вольфрам, индий. Можно также использовать и менее распространенные металлы, такие как: цезий, барий, гафний,  
40 тантал, рений, осмий, иридий, таллий, лантан, церий и самарий. При выборе материала экрана следующие факторы могут оказаться важными: технологичность, совместимость процесса формирования экрана-оболочки поверх нанокристаллита с дальнейшими технологическими процессами создания приборов на базе фононных резонаторов, достижимость требуемой прочности материалов, экологический аспект и  
45 др.

Электродинамическое моделирование показало также, что дефекты в форме вакансий (т.е. отсутствие одного или нескольких чередующихся атомов) или смещение атома из узла решетки в междоузельное положение почти не влияют на  
50 взаимодействие фононных мод соседних резонаторов. Это благоприятно для возможных практических применений фононных резонаторов.

Верхняя граничная частота фононного резонатора определяется массой атомов кристаллической решетки, тогда как нижняя граничная частота зависит от массы

атомов экрана-оболочки. Экран является прозрачным для частот в диапазоне между нижней и верхней граничной частотами колебаний атомов экрана. Следовательно, стоячие волны не могут возбуждаться в фоновом резонаторе в этом диапазоне частот. Стоячие волны могут возбуждаться в нанокристаллах в диапазоне частот с шириной, зависящей от отношения атомных масс составляющих атомов кристаллической решетки и экрана.

Дисперсионные спектры фоновых мод в меди и свинце приведены в [B.N.Brockhouse et al. // Phys. Rev. 1962, v.128, №3, p.1099-1111. G.Nilsson, S.Rolandson // Phys. Rev. 1973, v.B7, №6, p.619-632. E.C.Svesson et al. // Phys. Rev. 1967, v.155, №.3, p.619-632].

Верхняя граничная частота  $f_{\max}$  составляет 7,58 ТГц и 2,18 ТГц для меди и свинца соответственно. Приблизительная начальная величина полосы частот будет равна  $\Delta F_0 = f_{\text{Cu max}} - f_{\text{Pb max}} = (7,58 - 2,18) \text{ ТГц} = 5,4 \text{ ТГц}$ .

Электродинамическое моделирование показало, что нанесение свинцового экрана на поверхность медного нанокристаллита вызывает сложное изменение дисперсионных спектров. Например, нижняя граничная частота  $f_1$  превысит  $f_{\text{Pb max}}$ . Разница будет больше в случае более сильного сцепления (т.к. в этом случае атомы на границе раздела взаимно диффундируют) между двумя системами, одна из которых - набор трехмерных медных нанокристаллитов, а другая - трехмерный слой атомов свинца. Верхняя граничная частота  $f_u$  также изменится, но незначительно, и с хорошей точностью можно считать ее равной  $f_{\text{Cu max}}$ .

Таким образом, полоса частот  $\Delta F_1 = f_u - f_1$  будет менее широкой, чем начальная величина  $\Delta F_0$ . На основе результатов электродинамического моделирования полоса частот получается в пределах 4,7-5 ТГц (вместо 5,4 ТГц). Тем не менее, полоса частот будет достаточно широкой и в первом приближении превысит полосу частот бегущей волны фоновой моды в два раза, что подтверждает возможность расширения спектра усиливаемых фононов и достижение заявленного технического результата. Также следует отметить, что фононы внутри полосы частот будут более сильно влиять на свойства металла, чем фононы с частотами ниже нижней граничной частоты, поскольку имеет место резонансное усиление.

Данный пример демонстрирует возможность использования фоновых резонаторов нанометровых размеров для создания на их основе нанокомпозита.

Таким образом, использование настоящего изобретения обеспечивает увеличение эффекта резонансного усиления электрон-фононного взаимодействия, расширение спектра усиливаемых фононов и переход к трехмерной структуре. Переход к трехмерной наноструктуре позволяет получить конечное число гармонических мод колебаний кристаллической решетки, уменьшающееся пропорционально кубу характерного размера. При этом спектр колебаний становится дискретным, а отдельные моды колебаний не взаимодействуют друг с другом, что значительно усиливает все фономодулированные процессы в кристалле. Покрытие нанокристалла наноболочкой материала с более высоким атомным весом позволяет создать фоновый резонатор, все моды которого будут представлять собой стоячие волны и, соответственно, будут резонансным образом усиливаться. Создание композитов из фоновых резонаторов позволяет получить перспективный функциональный материал для электроники с регулируемой структурой и свойствами.

### Формула изобретения

1. Нанокомпозит на основе фоновых резонаторов, характеризующийся тем, что

он включает фоновые резонаторы, выполненные из электропроводящего материала в виде кристаллитов с размерами в интервале от 3 до 20 нм, поверхность которых покрыта оболочкой в виде слоя другого электропроводящего материала с атомной (молекулярной) массой большей атомной (молекулярной) массы материала кристаллита, при этом толщина слоя не превышает радиуса кристаллита и выполняется условие  $l/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $h_F$  - длина пробега фононов в кристаллите,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная (молекулярная) масса материала кристаллита, причем расстояние между кристаллитами, покрытыми оболочкой, выбрано такое, чтобы обеспечить электропроводность объемного нанокompозита.

2. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что в качестве кристаллитов электропроводящего материала использованы кристаллиты металла, сплава или полупроводника.

3. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что в качестве кристаллитов электропроводящего материала использованы кристаллиты, по крайней мере, одного из металлов группы: Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn.

4. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что в качестве электропроводящего материала оболочки использован металл, сплав, полупроводник или проводящий органический материал.

5. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что в качестве электропроводящего материала оболочки использован, по крайней мере, один из металлов группы: Pb, Sn, Ag, Au, Pt, W, In, Cs, Ba, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Tl, La, Ce, Sm.

6. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что для электропроводящего материала оболочки величина отношения  $\Delta M / M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $\Delta M / M > 1$ .

7. Нанокompозит по п.1, отличающийся тем, что для электропроводящего материала оболочки величина отношения  $\Delta M / M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $1 < \Delta M / M < 2$ .

8. Способ получения нанокompозита на основе фоновых резонаторов, заключающийся в том, что получают нанопорошок из электропроводящего материала, отбирают наночастицы кристаллитов электропроводящего материала с размерами в интервале от 3 до 20 нм, поверхность каждой из отобранных наночастиц кристаллита электропроводящего материала покрывают оболочкой в виде слоя другого электропроводящего материала с атомной (молекулярной) массой, большей атомной (молекулярной) массы материала кристаллита, и с толщиной слоя, не превышающей радиуса кристаллита, причем выполняется условие  $l/h_F \ll \pi \Delta M / (\lambda_F M)$ , где  $h_F$  - длина пробега фононов в кристаллите,  $\Delta M$  - разница атомных (молекулярных) масс материала оболочки и материала кристаллита,  $\lambda_F$  - длина волны фонона,  $M$  - атомная (молекулярная) масса материала кристаллита, и уплотняют полученный порошок покрытых оболочкой наночастиц под давлением или спеканием до образования проводящего объемного нанокompозита.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве кристаллитов электропроводящего материала используют кристаллиты металла, сплава или полупроводника.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве кристаллитов электропроводящего материала используют кристаллиты, по крайней мере, одного из металлов группы: Al, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn.

11. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве электропроводящего

материала оболочки используют металл, сплав, полупроводник или проводящий органический материал.

5 12. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве электропроводящего материала оболочки используют, по крайней мере, один из металлов из группы: Pb, Sn, Ag, Au, Pt, W, In, Cs, Ba, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Tl, La, Ce, Sm.

13. Способ по п.8, отличающийся тем, что для электропроводящего материала оболочки величина отношения  $\Delta M/M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $\Delta M/M > 1$ .

10 14. Способ по п.8, отличающийся тем, что для электропроводящего материала оболочки величина отношения  $\Delta M/M$  предпочтительно удовлетворяет неравенству  $1 < \Delta M/M < 2$ .

15

20

25

30

35

40

45

50