



(51) МПК
C30B 23/08 (2006.01)
C30B 29/52 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)
B82Y 40/00 (2011.01)
H01L 21/203 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C30B 23/08 (2018.05); *C30B 23/025* (2018.05); *C30B 23/063* (2018.05); *C30B 29/52* (2018.05); *H01L 21/203* (2018.05); *B82B 3/0014* (2018.05); *B82B 3/0066* (2018.05); *B82Y 40/00* (2018.05); *Y10S 977/701* (2018.05); *Y10S 977/721* (2018.05); *Y10S 977/773* (2018.05); *Y10S 977/81* (2018.05); *Y10S 977/933* (2018.05); *Y10S 438/973* (2018.05); *Y10S 438/974* (2018.05); *Y10S 438/982* (2018.05); *C01P 2004/40* (2018.05); *C01P 2004/42* (2018.05); *C01P 2004/64* (2018.05)

(21)(22) Заявка: 2018104934, 08.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.02.2018

Дата регистрации:
11.03.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.02.2018

(45) Опубликовано: 11.03.2019 Бюл. № 8

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 38, ФИЦ КНЦ СО РАН, отдел патентной и изобретательской работы

(72) Автор(ы):

Тарасов Иван Анатольевич (RU),
 Яковлев Иван Александрович (RU),
 Высотин Максим Александрович (RU),
 Смолярова Татьяна Евгеньевна (RU),
 Варнаков Сергей Николаевич (RU),
 Овчинников Сергей Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр "Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: TARASOV I.A. et al, Growth of α -FeSi 2 nanocrystals on si(100) with Au catalyst, "Materials Letters", 2016, Vol.168, pp.90-94.
 PUSHKAREV R.V. et al, Structural features and surface composition of epitaxial α -FeSi 2 films obtained by CVD, "Materials & Design", 5 January 2018, Vol.137, pp.422-429.
 CHEVRIER J. et al, Epitaxial Growth of α -FeSi 2 (см. прод.)

(54) Способ получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии получения материалов нанометрового размера, состоящих из нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с контролируемо изменяемой преимущественной кристаллографической ориентацией, формой и габитусом, и может применяться для разработки новых функциональных элементов в спинтронике и

нанотехнологии. Способ получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией включает предварительную химическую подготовку поверхности подложки кремния в водном растворе плавиковой кислоты и ее очистку путем отжига при 840-900°C, осаждение слоя золота на подложку кремния ориентацией

Si(001) при комнатной температуре методом термического испарения в сверхвысоком вакууме, повышение температуры подложки до 840°C и соосаждение железа и кремния при атомном соотношении от 1:2 до 3:1. Техническим результатом изобретения является контролируемое получение нанокристаллов α -

FeSi₂ на поверхности кремния с различными преимущественными кристаллографическими ориентационными соотношениями, изменяемой гранкой и формой нанокристалла α -FeSi₂ для одного и того же ориентационного соотношения. 3 ил., 1 табл., 4 пр.

(56) (продолжение):

on Si(111) at Low Temperature, EPL (Europhysics Letters), 2007, Vol.22, No.6, p.449.

R U 2 6 8 1 6 3 5 C 1

R U 2 6 8 1 6 3 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C30B 23/08 (2006.01)
C30B 29/52 (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01)
B82Y 40/00 (2011.01)
H01L 21/203 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C30B 23/08 (2018.05); *C30B 23/025* (2018.05); *C30B 23/063* (2018.05); *C30B 29/52* (2018.05); *H01L 21/203* (2018.05); *B82B 3/0014* (2018.05); *B82B 3/0066* (2018.05); *B82Y 40/00* (2018.05); *Y10S 977/701* (2018.05); *Y10S 977/721* (2018.05); *Y10S 977/773* (2018.05); *Y10S 977/81* (2018.05); *Y10S 977/933* (2018.05); *Y10S 438/973* (2018.05); *Y10S 438/974* (2018.05); *Y10S 438/982* (2018.05); *C01P 2004/40* (2018.05); *C01P 2004/42* (2018.05); *C01P 2004/64* (2018.05)

(21)(22) Application: 2018104934, 08.02.2018

(24) Effective date for property rights:
08.02.2018Registration date:
11.03.2019

Priority:

(22) Date of filing: 08.02.2018

(45) Date of publication: 11.03.2019 Bull. № 8

Mail address:

660036, g. Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str.
38, FITS KNTS SO RAN, otdel patentnoj i
izobretatelskoj raboty

(72) Inventor(s):

Tarasov Ivan Anatolevich (RU),
Yakovlev Ivan Aleksandrovich (RU),
Vysotin Maksim Aleksandrovich (RU),
Smolyarova Tatyana Evgenevna (RU),
Varnakov Sergej Nikolaevich (RU),
Ovchinnikov Sergej Gennadevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyj
issledovatel'skij tsentr "Krasnoyarskij nauchnyj
tsentr Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii
nauk" (RU)

(54) **METHOD OF OBTAINING IRON SILICIDE NANOCRYSTALS α -FeSi₂ WITH A CHANGING PREFERRED ORIENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to the technology of producing nanometer-sized materials consisting of iron silicide nanocrystals α -FeSi₂ with a controllably variable preferential crystallographic orientation, shape and habit, and can be used to develop new functional elements in spintronics and nanotechnology. Method for producing iron silicide nanocrystals α -FeSi₂ with variable preferential orientation includes preliminary chemical preparation of the surface of the silicon substrate in aqueous solution of hydrofluoric acid and its purification by annealing at 840–900 °C, deposition

of a gold layer on a silicon substrate by the orientation of Si (001) at room temperature by the method of thermal evaporation in ultrahigh vacuum, increase in substrate temperature to 840 °C and coprecipitation of iron and silicon with an atomic ratio of from 1:2 to 3:1.

EFFECT: technical result of the invention is the controlled production of nanocrystals α -FeSi₂ on the surface of silicon with different predominant crystallographic orientational ratios, variable cut and nanocrystal shape α -FeSi₂ for the same orientation ratio.

1 cl, 3 dwg, 1 tbl, 4 ex

RU 2 681 635 C1

RU 2 681 635 C1

Изобретение относится к технологиям получения материалов нанометрового размера, состоящих из нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с контролируемо изменяемой преимущественной кристаллографической ориентацией, формой и габитусом, и может применяться для разработки новых функциональных элементов в спинтронике, нанотехнологии, к примеру служить буферными, ориентирующими слоями для последующего роста других материалов и фаз силицидов железа на подложках кремния промышленно используемой ориентации Si(001), в частности β -FeSi₂, для понижения напряжений и плотности дефектов в последнем. Посредством изменения преимущественной кристаллографической ориентации и напряжений кристаллической решетки нанокристаллов α -FeSi₂, вызванных рассогласованием кристаллических решеток силицида α -FeSi₂ и кремния возможно контролируемое увеличение намагнитченности системы. Кроме того, нанокристаллы α -FeSi₂ могут быть использованы в качестве омического контакта к кремнию, где нижний температурный предел существования омического контакта может изменяться варьированием преимущественной ориентации нанокристаллов α -FeSi₂ на кремнии. Эффект достигается через изменение высоты барьера Шоттки, формируемого на интерфейсе силицид/кремний.

Фаза α -FeSi₂ относится к тетрагональной кристаллической системе (P4mmm) с параметрами решетки $a, b=2,684 \text{ \AA}, c=5,128 \text{ \AA}$, где атомы Fe образуют квазидвумерную структуру и расположены в плоскостях $\alpha \{001\}$ разделенных двумя плоскостями, образованными атомами кремния. Парамагнитная и метастабильная в объемных условиях фаза α -FeSi₂ в наномасштабе, как сообщается, может демонстрировать ферромагнитные свойства с намагнитченностью выше чем чистое железо. Наряду с этим считается, что такие квазидвумерные соединения, как α -FeSi₂, могут обнаруживать высокотемпературную сверхпроводимость.

Известен способ получения нанокристаллов силицида металла [патент US 2008211039 A1, МПК H01L 21/44, H01L 29/78, опубл. 04.09.2008] путем низко и высокотемпературного отжига металлической пленки, предварительно осажденной на поверхность диэлектрической пленки, содержащей кремний.

Существует способ получения пленки α -FeSi₂ на поверхности подложки кремния [патент CN 101337676 A, МПК C01B 33/06, опубл. 07.01.2009] путем воздействия лазерным излучением на предварительно осажденный слой железа или силицида железа β -FeSi₂. Этот способ достаточно эффективен для получения точечного омического контакта для микроэлектронных устройств на основе β -FeSi₂ и позволяет легко контролировать площадь, занимаемую фазой α -FeSi₂. Однако данный способ не обладает возможностью выбора кристаллографической ориентации формируемой фазы α -FeSi₂, а также не позволяет формировать отдельностоящие нанокристаллы различной огранки.

Известен способ получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией [R. V. Pushkarev, N.I. Fainer, H. Katsui and others. Structural features and surface composition of epitaxial α -FeSi₂ films obtained by CVD. - Mater. Des., 2018, 137, 422-429], включающий предварительную химическую подготовку поверхности подложки кремния в водном растворе плавиковой кислоты и ее очистку путем отжига при 840-900°C,

Недостатком этого способа является низкая плотность упаковки нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ на поверхности кремния и тенденция к формированию сплошной пленки при увеличении температуры, которая является ключевым параметром для контроля преимущественной ориентации. Кроме того, данный способ не позволяет проводить синтез нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с кристаллографическими ориентационными соотношениями, отличающимися от α -FeSi₂(001)//Si(001) и α -FeSi₂(111)//Si(001), α -FeSi₂(102)//Si(001). Так, способ не располагает возможностью получения нанокристаллов с ориентационными соотношениями α -FeSi₂(110)//Si(001) и α -FeSi₂(211)//Si(001), α -FeSi₂(100)//Si(001), где Si(001) является базовым срезом подложки. Также отсутствует возможность изменения огранки и габитуса нанокристалла α -FeSi₂ с одинаковым кристаллографическим ориентационным соотношением. Применяемый метод приводит к загрязнению поверхности различными веществами, такими как SiC, SiO₂, Fe₂O₃ и C.

Наиболее близким аналогом, принятым за прототип, является способ получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией [TARASOV I.A. et al, Growth of α -FeSi₂ nanocrystals on si(100) with Au catalyst, «Materials Letters», 2016, Vol. 168, pp. 90-94], включающий предварительную химическую подготовку поверхности подложки кремния в водном растворе плавиковой кислоты и ее очистку путем отжига при 840-900°C, осаждение слоя золота на подложку при комнатной температуре методом термического испарения в сверхвысоком вакууме, повышение температуры подложки до 840°C и соосаждение железа и кремния.

Недостатки способа заключаются в отсутствии возможности контролируемого изменения преимущественной кристаллографической ориентации нанокристаллов α -FeSi₂, а также изменения их преимущественных формы и огранки.

Задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является разработка способа получения нанокристаллов α -FeSi₂ с заданным кристаллографическим ориентационным соотношением, огранкой и габитусом методом термического осаждения в условиях сверхвысокого вакуума.

Техническим результатом заявляемого изобретения является способ получения нанокристаллов α -FeSi₂ на поверхности кремния, в котором существует возможность контролируемого получения нанокристаллов α -FeSi₂ с различными преимущественными кристаллографическими ориентационными соотношениями и изменяемой огранкой и формой нанокристалла α -FeSi₂, для одного и того же ориентационного соотношения.

Технический результат достигается тем, что в способе получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией, включающем предварительную химическую подготовку поверхности подложки кремния в водном растворе плавиковой кислоты и ее очистку путем отжига при 840-900°C, осаждение слоя золота на подложку при комнатной температуре методом термического испарения в сверхвысоком вакууме, повышение температуры подложки до 840°C и соосаждение железа и кремния, новым является то, что используют подложки кремния ориентацией Si(001), а соосаждение осуществляют с изменяемым атомным соотношением железа к кремнию от 1:2 до 3:1, соответственно.

Сопоставительный анализ с прототипом позволяет сделать вывод о том, что заявляемое изобретение отличается от известного тем, что нанокристаллы силицида железа формируются в результате термического осаждения железа, или соосаждения

железа и кремния в условиях сверхвысокого вакуума на подложке кремния с ориентацией Si(001) и соосаждение осуществляют с изменяемым атомным соотношением железа к кремнию от 1:2 до 3:1, соответственно. Признаки, отличающие заявляемое решение от прототипа, обеспечивают заявляемому техническому решению соответствие критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое решение от прототипа не выявлены при изучении других известных технических решений в данной области техники и, следовательно, обеспечивают ему соответствие критерию «изобретательский уровень».

Сущность изобретения поясняется чертежами и таблицей. На фиг. 1 представлены микрофотографии поверхности кремния Si(001) со сформированными нанокристаллами α -FeSi₂ при различных технологических условиях, фиг. 1a соответствует нанокристаллам α -FeSi₂, полученным в присутствии золота на поверхности кремния при соотношении атомарных потоков Fe(1):Si(2), фиг. 1b - в присутствии золота на поверхности кремния при соотношении атомарных потоков Fe(3):Si(1), фиг. 1c демонстрирует увеличенный вид некоторых нанокристаллов α -FeSi₂ на фиг. 1a, фиг. 1c - увеличенный вид некоторых нанокристаллов α -FeSi₂ на фиг. 1b, фиг. 1e - в отсутствие золота на поверхности кремния при соотношении атомарных потоков Fe(1):Si(2), фиг. 1f - в отсутствие золота на поверхности кремния при соотношении атомарных потоков Fe(3):Si(1), фиг. 1g демонстрирует увеличенный вид некоторых нанокристаллов α -FeSi₂ на фиг. 1e, фиг. 1h - увеличенный вид некоторых нанокристаллов α -FeSi₂ на фиг. 1f. На фиг. 2 - схематическое изображение форм и огранки, габитуса нанокристаллов α -FeSi₂, получаемых в ориентационном соотношении $\alpha(001)[010]//Si(001)[010]$ и $\alpha(001)[010]//Si(001)[110]$. На фиг. 3, в качестве примера показано схематическое изображение механизма образования нанокристаллов α -FeSi₂ в виде нанопластин с ориентационным соотношением $\alpha(001)//Si(001)$. Таб. 1 содержит информацию об изменении объемной доли нанокристаллов α -FeSi₂ с определенным ориентационным соотношением для различных условий формирования.

Сущность изобретения заключается в проведении реакции силицидообразования на поверхности кремния, активированной/неактивированной золотом в неравновесных условиях при совместном осаждении железа и кремния в условиях сверхвысокого вакуума (1×10^{-6} Па) с изменяемым отношением атомарных потоков железа к кремнию от 1:2 до 1:0 при повышенных температурах. Формирование желаемого преимущественного ориентационного соотношения происходит через изменение поверхностной энергии и энергии интерфейса нанокристаллов α -FeSi₂, для изменения формы и габитуса нанокристаллов α -FeSi₂ применяется соосаждение железа и кремния с изменяемым атомным соотношением железа к кремнию от 1:2 до 1:0, направленное на регулировку доли атомов кремния из подложки, участвующих в процессе силицидообразования. Варьируя соотношения в указанном диапазоне можно управлять преимущественной формой и огранкой, габитусом, формирующихся нанокристаллов. Например, увеличение доли железа в осаждаемом атомарном потоке железа на поверхность кремния, активированную золотом, приводит к преимущественному формированию нанокристаллов α -FeSi₂ в виде пластин с плоской атомарно-чистой поверхностью $\alpha(001)$.

Пример осуществления

Получение нанокристаллов α -FeSi₂ с преимущественными ориентационными

соотношениями $\alpha(001)//\text{Si}(001)$ и $\alpha(111)//\text{Si}(001)$ и изменяемыми преимущественными формой и огранкой, габитусом.

I. Нанокристаллы $\alpha\text{-FeSi}_2$ с преимущественным ориентационным соотношением $\alpha(001)//\text{Si}(001)$ и преимущественным габитусом в виде тетраэдра изготавливались в следующей технологической последовательности:

1) Предварительная подготовка поверхности подложки кремния ориентации $\text{Si}(001)$ в водном растворе плавиковой кислоты.

2) Получение атомарно-чистой поверхности кремния $\text{Si}(001)$ с реконструкцией 2×1 путем отжига подложки при $840\text{-}900^\circ\text{C}$.

3) Осаждение методом термического испарения в сверхвысоком вакууме в камере молекулярно-лучевой эпитаксии слоя золота на поверхность $\text{Si}(001)2\times 1$ при комнатной температуре, при скорости осаждения порядка $0,3$ нм/мин. Эффективная толщина слоя золота 1 нм.

4) Повышение температуры подложки до 840°C

5) Соосаждение железа и кремния на поверхность кремния, активированную золотом, при атомарном соотношении железа к кремнию $1:2$, в течение 60 минут, при скоростях осаждения $0,1$ нм/мин и $0,34$ нм/мин для железа и кремния, соответственно.

II. Нанокристаллы $\alpha\text{-FeSi}_2$ с преимущественным ориентационным соотношением $\alpha(001)//\text{Si}(001)$ и преимущественным габитусом в виде усеченной четырехугольной пирамиды/бипирамиды с высоким характеристическим отношением изготавливались в следующей технологической последовательности:

1) Предварительная подготовка поверхности подложки кремния ориентации $\text{Si}(001)$ в водном растворе плавиковой кислоты.

2) Получение атомарно-чистой поверхности кремния $\text{Si}(001)$ с реконструкцией 2×1 путем отжига подложки при $840\text{-}900^\circ\text{C}$.

3) Осаждение методом термического испарения в сверхвысоком вакууме в камере молекулярно-лучевой эпитаксии слоя золота на поверхность $\text{Si}(001)2\times 1$ при комнатной температуре, при скорости осаждения порядка $0,3$ нм/мин. Эффективная толщина слоя золота 1 нм.

4) Повышение температуры подложки до 840°C

5) Соосаждение железа и кремния на поверхность кремния, активированную золотом, при атомарном соотношении железа к кремнию $3:1$, в течение 60 минут, при скоростях осаждения $0,22$ нм/мин и $0,13$ нм/мин для железа и кремния, соответственно.

III. Нанокристаллы $\alpha\text{-FeSi}_2$ с преимущественным ориентационным соотношением $\alpha(111)//\text{Si}(001)$ и преимущественным габитусом в виде трапезоидной призмы изготавливались в следующей технологической последовательности:

1) Предварительная подготовка поверхности подложки кремния ориентации $\text{Si}(001)$ в водном растворе плавиковой кислоты.

2) Получение атомарно-чистой поверхности кремния $\text{Si}(001)$ с реконструкцией 2×1 путем отжига подложки при $840\text{-}900^\circ\text{C}$.

3) Установление температуры подложки на уровне 840°C

4) Соосаждение железа и кремния на поверхность кремния, активированную золотом, при атомарном соотношении железа к кремнию $1:2$, в течение 60 минут, при скоростях осаждения $0,1$ нм/мин и $0,34$ нм/мин для железа и кремния, соответственно.

IV. Нанокристаллы $\alpha\text{-FeSi}_2$ со слабой огранкой с преимущественным ориентационным соотношением $\alpha(111)//\text{Si}(001)$ изготавливались в следующей технологической последовательности:

1) Предварительная подготовка поверхности подложки кремния ориентации Si(001) в водном растворе плавиковой кислоты.

2) Получение атомарно-чистой поверхности кремния Si(001) с реконструкцией 2×1 путем отжига подложки при 840-900°C.

3) Установление температуры подложки на уровне 840°C

4) Соосаждение железа и кремния на поверхность кремния, активированную золотом, при атомарном соотношении железа к кремнию 3:1, в течение 60 минут, при скоростях осаждения 0,22 нм/мин и 0,13 нм/мин для железа и кремния, соответственно.

Полученные нанокристаллы α -FeSi₂ с различными преимущественными ориентационными соотношениями к подложке кремния Si(001) и различными преимущественной формой и огранкой, габитусом изучались на растровом электронном микроскопе Hitachi S-5500, анализ доли нанокристаллов α -FeSi₂ с тем или иным ориентационным соотношением проводился методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре PANalytical X'Pert PRO, оборудованном твердотельным детектором PIXcel. На фиг. 1 видно, что поверхность подложки кремния содержит нанокристаллы α -FeSi₂, изменение технологических условий роста приводит к изменению преимущественной формы и огранки, габитуса нанокристаллов α -FeSi₂ и их преимущественного кристаллографического ориентационного соотношения (см. таб. 1). Анализ поверхностной энергии граней кристалла α -FeSi₂ (001) и (111), покрытых золотом и свободными от него методами квантового химического моделирования показал, что присутствие золота уменьшает поверхностную энергию грани α (111) с 9,54 до 7,77 эВ/нм², тогда как в случае грани α (001) - увеличивает с 8,23 до 12,74 эВ/нм². На фиг. 3 представлен механизм формирования нанокристаллов α -FeSi₂ с ориентационным соотношением α (001)//Si(001) и габитусом в виде усеченной четырехугольной бипирамиды с высоким характеристическим отношением, основанный на результатах выполненного квантового химического моделирования.

Таблица 1.

Образец	В присутствии золота	В присутствии золота	В отсутствии золота	В отсутствии золота
	Соотношение Fe(1):Si(2)	Соотношение Fe(3):Si(1)	Соотношение Fe(1):Si(2)	Соотношение Fe(3):Si(1)
Параметр решетки, Å				
a	2.6939(1)	2.6948(2)	2.6912(2)	2.6967(4)
c	5.1335(2)	5.1352(2)	5.1260(5)	5.136(2)
Доля нанокристаллов α-FeSi₂ с ориентационными соотношениями, %				
FeSi ₂ (001) Si(001)	57.7	69.2	1.4	0.3
FeSi ₂ (111) Si(001)	40.3	25.0	82.2	99.7
FeSi ₂ (110) Si(001)	0.8	0.8	0.7	-
FeSi ₂ (102) Si(001)	1.3	5.1	3.6	-
FeSi ₂ (100) Si(001)	-	-	11.7	-
FeSi ₂ (211) Si(001)	-	-	0.4	-

(57) Формула изобретения

Способ получения нанокристаллов силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой преимущественной ориентацией, включающий предварительную химическую подготовку поверхности подложки кремния в водном растворе плавиковой кислоты и ее очистку

путем отжига при 840-900°C, осаждение слоя золота на подложку при комнатной температуре методом термического испарения в сверхвысоком вакууме, повышение температуры подложки до 840°C и соосаждение железа и кремния, отличающийся тем, что используют подложки кремния ориентацией Si(001), а соосаждение осуществляют с изменяемым атомным соотношением железа и кремния от 1:2 до 3:1 соответственно.

10

15

20

25

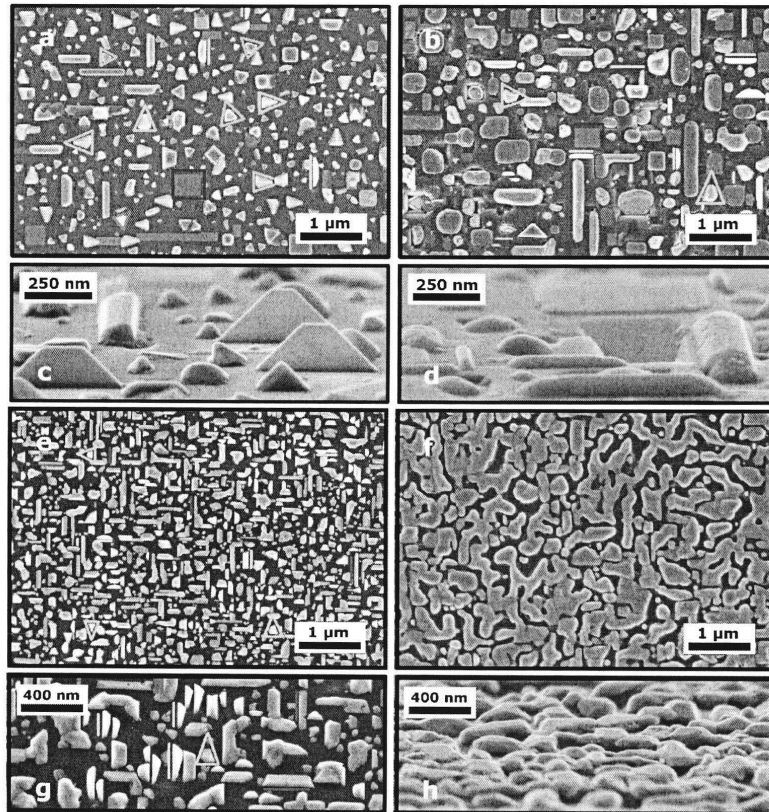
30

35

40

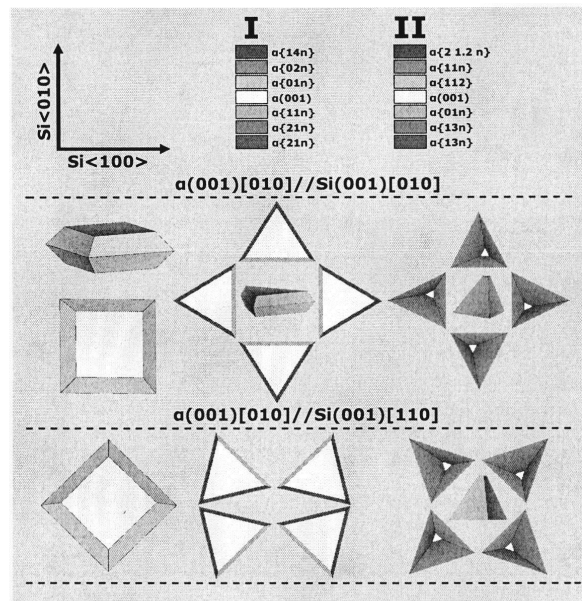
45

Способ получения нанокристаллов
силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой
преимущественной ориентацией



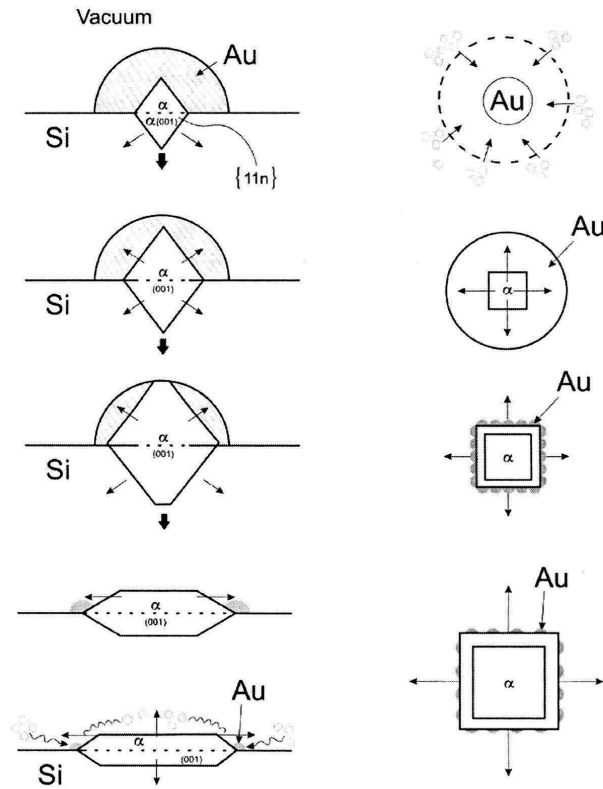
Фиг. 1.

Способ получения нанокристаллов
 силицида железа $\alpha\text{-FeSi}_2$ с изменяемой
 преимущественной ориентацией



Фиг. 2.

Способ получения нанокристаллов
 силицида железа α -FeSi₂ с изменяемой
 преимущественной ориентацией



Фиг. 3.