



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H01L 21/285 (2019.05); B82B 3/00 (2019.05)*

(21)(22) Заявка: 2018144646, 14.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.12.2018

Дата регистрации:  
06.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.12.2018

(45) Опубликовано: 06.08.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,  
патентно-информационный отдел, Карнышеву  
В.И.

(72) Автор(ы):

Ерофеев Евгений Викторович (RU),  
Федин Иван Владимирович (RU),  
Федина Валерия Васильевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Томский государственный  
университет систем управления и  
радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: A. Malmros et al. Electrical properties,  
microstructure and thermal stability of Ta-based  
ohmic contacts annealed at low temperature for  
GaN HEMTs. *Semicond. Sci. Technol.*, V.26, N7,  
2011. Y. Liua et al. Mechanisms of Ohmic Contact  
Formation and Carrier Transport Of Liw  
Temperature Annealed Hf/Al/Ta on  
InO.18AlO.82N/GaN-on-Si//ECS J. Solid State  
(см. прод.)

(54) Способ изготовления омического контакта к AlGaIn/GaN

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии сверхвысокочастотной (СВЧ) микроэлектроники, а именно к технологии формирования мощных GaN транзисторов и СВЧ монолитных интегральных схем (СВЧ МИС) на их основе и, в частности, к созданию термостабильных низкорезистивных омических контактов к гетеропереходам AlGaIn/GaN. Поверхность полупроводниковой кремниевой пластины с эпитаксиальной гетероструктурой AlGaIn/GaN подвергается химической очистке с формированием двухслойной фоторезистивной маски с последующим плазмохимическим травлением рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaIn. Далее производится последовательное осаждение тонких пленок барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta)

толщиной 5-100 нм, слоя проводника на основе алюминия (Al) толщиной 5-1000 нм и верхнего защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-1000 нм. При этом осаждение пленки проводника производится методом электронно-лучевого испарения, а пленок барьерообразующего и защитного слоев - методами магнетронного распыления в вакууме при остаточном давлении. Затем производится удаление двухслойной фоторезистивной маски с последующей термической обработкой контактов в инертной атмосфере. Изобретение обеспечивает повышение термической стабильности электрических параметров омического контакта на основе композиции Ta/Al/Ta, а также улучшение морфологии поверхности его контактной площадки. 4 з.п. ф-лы, 2 ил.

(56) (продолжение):

Sci. Technol., 4, 2, 2015. RU 2619444 C1, 15.05.2017. RU 155419 U1, 10.10.2015. RU 2407104 C1, 20.12.2010. RU 2315389 C1, 20.01.2008. US 20150364330 A1, 17.12.2015. US 20120015513 A1, 19.01.2012.

R U 2 6 9 6 8 2 5 C 1

R U 2 6 9 6 8 2 5 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01L 21/285 (2019.05); B82B 3/00 (2019.05)*

(21)(22) Application: **2018144646, 14.12.2018**

(24) Effective date for property rights:  
**14.12.2018**

Registration date:  
**06.08.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **14.12.2018**

(45) Date of publication: **06.08.2019** Bull. № 22

Mail address:

**634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR,  
patentno-informatsionnyj otdel, Karnyshevu V.I.**

(72) Inventor(s):

**Erofeev Evgenij Viktorovich (RU),  
Fedin Ivan Vladimirovich (RU),  
Fedina Valeriya Vasilevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Tomskij gosudarstvennyj  
universitet sistem upravleniya i radioelektroniki"  
(TUSUR) (RU)**

(54) **METHOD OF MAKING OHMIC CONTACT TO ALGAN/GAN**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the technology of ultrahigh-frequency (UHF) microelectronics, specifically to the technology of forming high-power GaN transistors and UHF monolithic integrated circuits (UHF MIC) based thereon and, in particular, to thermostable low-resistive ohmic contacts to AlGaN/GaN heterojunctions. Surface of the semiconductor silicon plate with epitaxial heterostructure AlGaN/GaN undergoes chemical purification with formation of a double-layer photoresistive mask with subsequent plasma-chemical etching of the recess (deposit) in the barrier layer based on AlGaN. Then one performs successive deposition of thin films of barrier-forming layer based on tantalum (Ta) with thickness of 5–100

nm, layer of conductor based on aluminum (Al) with thickness of 5–1,000 nm and upper protective layer on the basis of tantalum (Ta) with thickness of 5–1,000 nm. At that, deposition of conductor film is performed by electron-beam evaporation, and films of barrier-forming and protective layers – by magnetron sputtering in vacuum at residual pressure. Then double-layer photoresistive mask is removed with subsequent thermal treatment of contacts in inert atmosphere.

EFFECT: invention provides high thermal stability of electrical parameters of the ohmic contact based on the Ta/Al/Ta composition, as well as improved morphology of the surface of its contact pad.

5 cl, 2 dwg

Изобретение относится к технологии сверхвысокочастотной (СВЧ) микроэлектроники, а именно к технологии формирования мощных GaN транзисторов и СВЧ монолитных интегральных схем (СВЧ МИС) на их основе и, в частности, к созданию термостабильных низкорезистивных омических контактов (ОК) к гетеропереходам AlGaIn/GaN.

Транзисторы с высокой подвижностью электронов на основе эпитаксиальных гетероструктур AlGaIn/GaN являются перспективной элементной базой для создания устройств СВЧ электроники. Это обусловлено высокими напряжениями пробоя и плотностью тока. Однако для достижения высоких электрических характеристик GaN транзисторов требуются низкорезистивные омические контакты. Задача получения высококачественных ОК становится все более актуальной в связи с непрерывным уменьшением характерных размеров элементов транзисторов.

В настоящее время наиболее распространенным омическим контактом к гетероэпитаксиальным структурам AlGaIn/GaN является многослойная металлизация на основе Ti/Al/Ni/Au (B. Jacobs, C.M. Kramer, E.J. Geluk, F. Karouta. Optimisation of the Ti/Al/Ni/Au ohmic contact on AlGaIn/GaN FET structures // Journal of Crystal Growth, 241, 1, 2002). Нижний слой титана (Ti), непосредственно контактирующий с полупроводником с образованием соединений TiN в процессе термической обработки, играет значительную роль в формировании низкорезистивного омического контакта. Слой алюминия (Al), в свою очередь, реагируя с титаном (Ti) в процессе отжига, способствует формированию фаз Al<sub>3</sub>Ti, предотвращая окисление титана (Ti). Слой никеля (Ni) выступает в качестве диффузионного барьера, препятствующему взаимодействию слоя алюминия (Al) с вышележащим слоем золота (Au), выполняющего защитную функцию. При этом вместо молибдена (Mo), тантала (Ta) или платины (Pt). К преимуществам омических контактов на основе Ti/Al/Ni/Au можно отнести низкое значение приведенного контактного сопротивления (<0.5 Ом·мм), а к недостаткам - высокую температуру термообработки (>800°C), а также развитый рельеф поверхности контактной площадки и неровность ее края.

Альтернативой контактам на основе Ti/Al/Ni/Au могут быть низкотемпературные омические контакты на основе композиций TiN/Al, Hf/Al или Ta/Al, которые способны формировать низкорезистивный омический контакт к гетероэпитаксиальным структурам AlGaIn/GaN при низких температурах термической обработки (<600°C), меньшей температуры плавления слоя алюминия (660°C), что позволяет обеспечить гладкую морфологию поверхности контактной площадки, а также ее края.

Известен способ (A. Firrencieli, B. Jaeger, S. Decoutere. Au-free low temperature ohmic contacts for AlGaIn/GaN power devices on 200mm Si substrates // Jap. J. Appl. Phys., 53, 03EF01-1, 2014) создания омического контакта на основе композиции TiN / Ti / Al / Ti / TiN (10/20/100/20/50 нм) к гетероэпитаксиальным структурам на основе Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N/GaN на кремниевых подложках. Минимальное значение приведенного контактного сопротивления составило 0.67 Ом·мм после термической обработки при температуре T=550°C в течение t=90 с. К преимуществам данного контакта можно отнести совместимость с типовыми кремниевыми технологическими процессами, что позволяет производить мощные GaN приборы на дешевых GaN/Si пластинах большого диаметра по малозатратной кремниевой технологии. К недостаткам данного способа является высокое значение приведенного контактного сопротивления омического контакта.

Известен способ (Y. Liua and el. Mechanisms of Ohmic Contact Formation and Carrier Transport of Low Temperature Annealed Hf/Al/Ta on In<sub>0.18</sub>Al<sub>0.82</sub>N/GaN-on-Si // ECS J. Solid State Sci. Technol., 4, 2, 2015) создания омического контакта на основе композиции Hf/

Al/Ta (15/200/20 нм) к гетероэпитаксиальным структурам на основе  $\text{In}_{0.18}\text{Al}_{0.82}\text{N}/\text{GaN}$  на кремниевых подложках. Минимальное значение приведенного контактного сопротивления составило 0.59 Ом·мм после термической обработки при температуре  $T=600^\circ\text{C}$  в течение  $t=60$  с. Кроме того, было установлено, что мощные GaN транзисторы с низкотемпературными омическими контактами на основе Hf/Al/Ta демонстрировали лучшие электрические характеристики, чем аналоги, изготовленные с использованием высокотемпературных омических контактов на основе Ti/Al/Ni/Au. Недостатком данного способа является высокое значение контактного сопротивления омического контакта.

Известен способ (A. Malmros, H. Blanck, and N. Rorsman. Electrical properties, microstructure, and thermal stability of Ta-based ohmic contacts annealed at low temperature for GaN HEMTs // Semicond. Sci. Technol. Vol. 26, No. 7, 2011) изготовления омического контакта на основе композиции Ta/Al/Ta к гетероэпитаксиальным структурам на основе  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}/\text{GaN}$  выбранный нами за прототип, в котором используется следующая последовательность технологических операций. На поверхности полупроводниковой пластины с гетероэпитаксиальной структурой AlGaIn/GaN производится формирование двухслойной резистивной маски. Далее методами плазмохимического травления производится травление рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaIn. Затем методом электронно-лучевого испарения в вакууме производится последовательное осаждение тонких пленок на основе тантала (Ta) толщиной 10 нм, алюминия (Al) толщиной 280 нм и тантала (Ta) толщиной 20 нм. Далее производится удаление фоторезистивной маски с последующей термической обработкой контактов при  $T=550^\circ\text{C}$  в атмосфере азота.

Недостатком данного способа является низкая термическая стабильность электрических параметров омического контакта, а также развитая морфология поверхности его контактной площадки.

Основной технической задачей предложенного способа является повышение термической стабильности электрических параметров омического контакта на основе композиции Ta/Al/Ta, а также улучшение морфологии поверхности его контактной площадки.

Основная техническая задача достигается тем, что в способе изготовления омического контакта, включающего очистку поверхности полупроводниковой кремниевой пластины с эпитаксиальной гетероструктурой AlGaIn/GaN, формирование на поверхности пластины двухслойной фоторезистивной маски с последующим плазмохимическим травлением рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaIn, последовательное осаждение методом электронно-лучевого испарения в вакууме тонких пленок барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-100 нм, слоя проводника на основе алюминия (Al) толщиной 5-1000 нм и верхнего защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-1000 нм, удаление двухслойной фоторезистивной маски и термообработку контактов в инертной атмосфере, отличающейся тем, что напыление пленок барьерообразующего и защитного слоев на основе тантала (Ta) производится методами магнетронного распыления в вакууме.

В частном случае в качестве материала полупроводниковой пластины может использоваться сапфир или карбид кремния (SiC).

В частном случае в качестве гетероструктуры могут использоваться InAlN/GaN или InAlGaIn/GaN.

В частном случае в качестве материала барьерообразующего слоя могут использоваться пленки титана (Ti), гафния (Hf) или нитрида титана (TiN), формируемые методами электронно-лучевого испарения или магнетронного распыления в вакууме.

В частном случае в качестве материала осаждаемого защитного слоя могут использоваться пленки тугоплавких металлов и их соединений (Ti, Mo, W, TaN, TiN, WN, WSi), формируемые методами магнетронного распыления.

5 Проведенный заявителем анализ уровня техники позволил установить, что аналоги, характеризующиеся совокупностями признаков, тождественными всем признакам заявляемого способа, отсутствуют.

Предлагаемый способ заключается в следующем. Поверхность полупроводниковой кремниевой пластины с эпитаксиальной гетероструктурой AlGaIn/GaN подвергается химической очистке с формированием двухслойной фоторезистивной маски с  
10 последующим плазмохимическим травлением рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaIn. Далее производится последовательное осаждение тонких пленок барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-100 нм, слоя проводника на основе алюминия (Al) толщиной 5-1000 нм и верхнего защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-1000 нм. При этом осаждение пленки проводника производится  
15 методом электроннолучевого испарения, а пленок барьерообразующего и защитного слоев методами магнетронного распыления в вакууме при остаточном давлении. Затем производится удаление двухслойной фоторезистивной маски с последующей термической обработкой контактов в инертной атмосфере.

В частном случае в качестве материала полупроводниковой пластины может  
20 использоваться сапфир или карбид кремния (SiC).

В частном случае в качестве гетероструктуры могут использоваться InAlIn/GaN или InAlGaIn/GaN.

В частном случае в качестве материала барьерообразующего слоя могут использоваться пленки титана (Ti), гафния (Hf) или нитрида титана (TiN), формируемые  
25 методами электронно-лучевого испарения или магнетронного распыления в вакууме.

В частном случае в качестве материала осаждаемого защитного слоя могут использоваться пленки тугоплавких металлов и их соединений (Ti, Mo, W, TaN, TiN, WN, WSi), формируемые методами магнетронного распыления.

Пример.

30 Пример демонстрирует технический результат, достигаемый по предлагаемому способу, относительно способа прототипа.

В экспериментах использовались эпитаксиальные гетероструктуры типа i-GaN/AlGaIn/GaN выращенные методом металл-органической газовой эпитаксии на подложках кремния диаметром 100 мм. Гетероструктура включала в себя буферный слой на основе легированного железом GaN толщиной 2 мкм, канальный слой из нелегированного  
35 GaN, барьерный слой  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  толщиной 12 нм и защитный i-GaN слой толщиной 2 нм.

Методом плазмохимического травления на пластинах формировалась межприборная меза-изоляция травлением полупроводника в плазме состава  $BCl_3/Cl_2/Ar$  на глубину  
40 180 нм. Далее на поверхности пластин литографическими методами формировалась двухслойная фоторезистивная маска, в которой вскрывались окна для формирования металлизации омических контактов с последующим плазмохимическим травлением рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaIn на глубину  $7 \pm 2$  нм.

45 На первой пластине, изготавливаемой по способу-прототипу, методом электронно-лучевого испарения в вакууме производилось осаждение тонких пленок барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta) толщиной 10 нм, пленки проводника на основе алюминия (Al) толщиной 280 нм и пленки защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 20 нм.

На вторую пластину, изготавливаемую по предлагаемому способу, методом магнетронного испарения в вакууме производилось осаждение пленки барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta) толщиной 10 нм с последующим осаждением методом электронно-лучевого испарения в вакууме пленки проводника на основе алюминия (Al) толщиной 280 нм с последующим осаждением методом магнетронного испарения в вакууме пленки защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 20 нм.

После напыления металлизации омических контактов на обеих пластинах фоторезистивная маска удалялась и проводилась термическая обработка контактов при температуре  $T=550^{\circ}\text{C}$  в течение  $t=60$  сек в атмосфере азота.

Приведенное контактное сопротивление омического контакта измерялось методом линий передач (МЛП). Морфология поверхности контактных площадок исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

На фиг. 1 представлена экспериментальная зависимость величины приведенного контактного сопротивления от температуры термической обработки для омического контакта на основе Ta/Al/Ta (10/280/20 нм), полученного по способу-прототипу (1) и предлагаемому способу (2).

Из результатов видно, что омические контакты на основе композиции Ta/Al/Ta, полученные обоими способами демонстрируют минимальное значение приведенного контактного сопротивления порядка 0.3 Ом·мм после термической обработки при температуре  $T=550^{\circ}\text{C}$  в течение  $t=60$  с в среде азота. При этом дальнейшее увеличение температуры термической обработки до  $T=650^{\circ}\text{C}$  для омического контакта, полученного по способу-прототипу (1) приводит к росту величины приведенного контактного сопротивления до 1.8 Ом·мм, в то время, как омический контакт, сформированный по предлагаемому способу демонстрирует значительно меньшее значение приведенного контактного сопротивления (0.5 Ом·мм) после высокотемпературной обработки, что свидетельствует о высокой термической стабильности электрических параметров омического контакта.

На фиг. 2 представлены микроскопические изображения поверхности омического контакта на основе Ta/Al/Ta (10/280/20 нм), полученного по способу-прототипу (1) и предлагаемому способу (2) после их термической обработки при  $T=650^{\circ}\text{C}$  в течение  $t=60$  с в среде азота.

Из фиг. 2 видно, что омический контакт, полученный по способу-прототипу (1) демонстрирует развитую морфологию поверхности контактной площадки в отличие от аналога, полученного предлагаемым способом (2).

Наблюдаемые эффекты могут быть обусловлены тем, что использование верхнего защитного слоя на основе пленки тантала (Ta) толщиной 20 нм, формируемой методами магнетронного распыления позволяет эффективно защитить слой проводника на основе алюминия (Al) от взаимодействия с окружающей средой по торцам контактной металлизации в процессе термической обработки омического контакта. Кроме того, пленки тантала (Ta), формируемые методами магнетронного распыления характеризуются особыми структурными и механическими свойствами (размером зерна, стрессом) по сравнению с аналогами, сформированными методами электронно-лучевого испарения в вакууме, что позволяет улучшить морфологию поверхности контактной площадки омического контакта на основе Ta/Al/Ta в результате его высокотемпературной термической обработки в инертной среде.

(57) Формула изобретения

1. Способ изготовления омического контакта, включающий очистку поверхности полупроводниковой кремниевой пластины с эпитаксиальной гетероструктурой AlGaN/GaN, формирование на поверхности пластины двухслойной фоторезистивной маски с последующим плазмохимическим травлением рецесса (заглубления) в барьерном слое на основе AlGaN, последовательное осаждение методом электронно-лучевого испарения в вакууме тонких пленок барьерообразующего слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-100 нм, слоя проводника на основе алюминия (Al) толщиной 5-1000 нм и верхнего защитного слоя на основе тантала (Ta) толщиной 5-1000 нм, удаление двухслойной фоторезистивной маски и термообработку контактов в инертной атмосфере, отличающийся тем, что напыление пленок барьерообразующего и защитного слоев на основе тантала (Ta) производится методами магнетронного распыления в вакууме.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала полупроводниковой пластины может использоваться сапфир или карбид кремния (SiC).

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве гетероструктуры могут использоваться InAlN/GaN или InAlGaN/GaN.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала барьерообразующего слоя могут использоваться пленки титана (Ti), гафния (Hf) или нитрида титана (TiN), формируемые методами электронно-лучевого испарения или магнетронного распыления в вакууме.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве материала осаждаемого защитного слоя могут использоваться пленки тугоплавких металлов и их соединений (Ti, Mo, W, TaN, TiN, WN, WSi), формируемые методами магнетронного распыления.

25

30

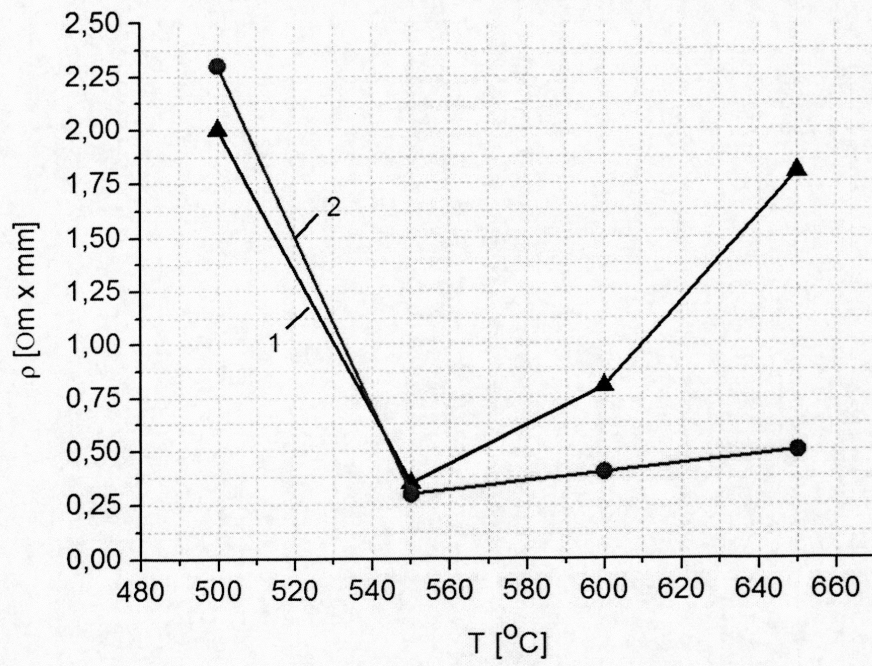
35

40

45

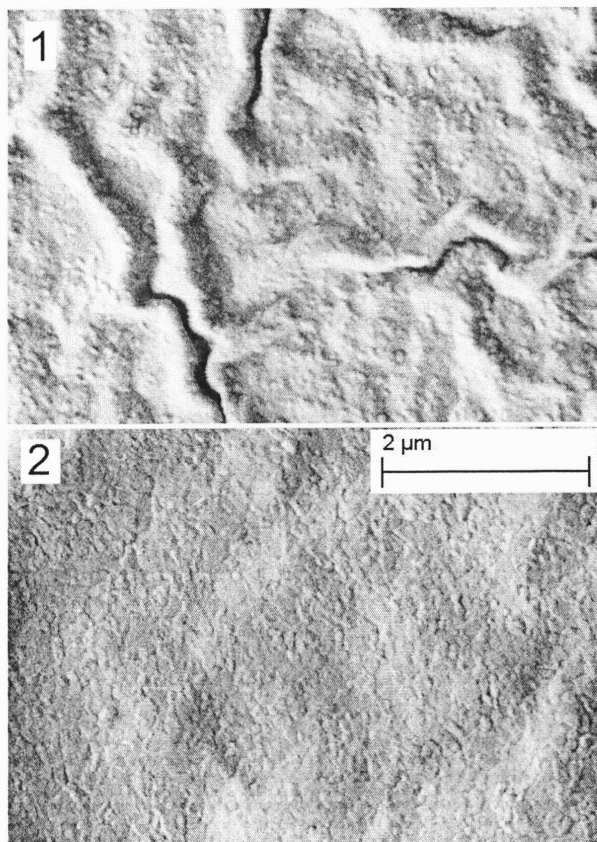


1



Фиг.1

2



Фиг.2