



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2009118861/28, 20.05.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.05.2009(45) Опубликовано: **20.06.2010** Бюл. № 17(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2229755 C2, 27.05.2004. SU 527988 A1,
30.09.1986. US 4529619 A, 16.07.1985. US
6087205 A, 11.07.2000. US 6649520 B1,
18.11.2003. US 7317252 B2, 08.01.2008.
EP 0153043 A2, 28.08.1985. JP 61196530 A,
30.08.1985. KR 100351872 B1, 26.08.2002.**Адрес для переписки:
**390005, г.Рязань, ул. Гагарина, 59/1,
патентная служба РГРТУ**

(72) Автор(ы):

**Авачев Алексей Петрович (RU),
Вихров Сергей Павлович (RU),
Вишняков Николай Владимирович (RU),
Митрофанов Кирилл Валентинович (RU),
Мишустин Владислав Геннадьевич (RU),
Попов Александр Афанасьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Рязанский государственный
радиотехнический университет (RU)****(54) СПОСОБ СОЗДАНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ
УСТРОЙСТВАХ НА АМОРФНЫХ НЕЛЕГИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электронной техники и может быть использовано для формирования омических контактов в тонкопленочных полевых транзисторах, элементах памяти, солнечных элементах, на основе нелегированного аморфного гидрогенизированного кремния или других неупорядоченных полупроводников. Сущность изобретения: в способе создания омических контактов в тонкопленочных устройствах на аморфных нелегированных полупроводниках, заключающемся в осаждении пленки полупроводника на подложку, формировании маскирующего диэлектрического слоя, фотолитографии для вскрытия окон в диэлектрическом слое и напылении

металлических электродов с последующей фотолитографией по металлу, непосредственно перед напылением металлических электродов производят операцию ионной бомбардировки пленки полупроводника ионами инертного газа, например аргона, через вскрытые в диэлектрике окна. Способ обеспечивает исключение термического отжига при температуре эффузии водорода, который может оказывать влияние на электрофизические параметры пленки аморфного полупроводника, и использовании создания «нарушенного» слоя на контакте металл-полупроводник, для создания поверхностных омических контактов к пленочным нелегированным аморфным полупроводникам. 4 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2009118861/28, 20.05.2009**

(24) Effective date for property rights:
20.05.2009

(45) Date of publication: **20.06.2010 Bull. 17**

Mail address:

**390005, g.Rjazan', ul. Gagarina, 59/1, patentnaja
sluzhba RGRTU**

(72) Inventor(s):

**Avachev Aleksej Petrovich (RU),
Vikhrov Sergej Pavlovich (RU),
Vishnjakov Nikolaj Vladimirovich (RU),
Mitrofanov Kirill Valentinovich (RU),
Mishustin Vladislav Gennad'evich (RU),
Popov Aleksandr Afanas'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe agentstvo po obrazovaniju
Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
Rjazanskij gosudarstvennyj radiotekhnicheskij
universitet (RU)**

(54) METHOD OF MAKING OHMIC CONTACTS IN THIN-FILM DEVICES ON AMORPHOUS UNDOPED SEMICONDUCTORS

(57) Abstract:

FIELD: physics, semiconductors.

SUBSTANCE: invention relates to electronic engineering and can be used in making ohmic contacts in thin-film field-effect transistors, memory elements, solar cells based on undoped amorphous hydrogenated silicon or other amorphous semiconductors. The method of making ohmic contacts in thin-film devices on undoped amorphous semiconductors involves depositing a semiconductor film onto a substrate, formation of a masking dielectric layer, photolithography for opening windows in the dielectric layer and sputtering metal

electrodes with subsequent photolithography on the metal. Immediately before sputtering the metal electrodes, the semiconductor film undergoes ion bombardment with inert gas ions, e.g. argon, through windows opened in the dielectric layer.

EFFECT: method avoids thermal annealing at hydrogen effusion temperature, which may affect electrophysical parametres of the film of amorphous semiconductor, and enables formation of a "broken" layer on the metal-semiconductor junction to create surface ohmic contacts to film-type undoped amorphous semiconductors.

4 dwg

Изобретение относится к области электронной техники, микро- и нанoeлектроники, и может быть использовано для формирования омических контактов в тонкопленочных полевых транзисторах, элементах памяти, солнечных элементах, использующих барьер типа Шоттки, и других на основе нелегированного аморфного гидрогенизированного кремния (далее a-Si:H) или других неупорядоченных полупроводников.

Известен способ создания омического контакта к слоям a-Si:H путем дополнительного легирования из газовой фазы, содержащий газ фосфин (PH_3) для создания n^+ -подслоя или диборан (B_2H_6) - для p^+ -подслоя. При легировании происходит в первом случае смещение уровня Ферми к дну зоны проводимости, во втором случае - к потолку валентной зоны, что снижает высоту потенциального барьера металл - a-Si:H [1, стр.120-125]. Этот способ широко используется в случае кристаллических полупроводников. Однако в отличие от кристаллических полупроводников в аморфных полупроводниках изменить положение уровня Ферми, меняя концентрацию легирующей примеси, в широких пределах не удастся, так как введение примесей вносит дополнительно некоторое увеличение высокоэнергетических дефектов, создающих локализованные состояния вблизи уровня Ферми и стремящихся "закрепить" его вблизи середины запрещенной зоны (далее щели подвижности). В a-Si:H при содержании водорода в сплаве ~10% удастся изменять положение уровня E_F в пределах $\pm 0,4$ эВ. В халькогенидных стеклообразных полупроводниках и "чистом", непассивированном водородом или другими элементами аморфном кремнии изменять положение E_F , внося легирующие добавки, практически не удастся [1]. Поэтому хорошего омического контакта к аморфным полупроводникам традиционным способом - введением легирующей примеси - получить сложно. Кроме того, в процессе легирования используются токсичные и взрывоопасные газы фосфин и диборан. Фосфин - бесцветный газ с неприятным запахом, сильный восстановитель. Самопроизвольно воспламеняется на воздухе, ядовит. Диборан - неприятно пахнущий газ, высокая теплота сгорания, ядовит [2].

Существует также способ формирования контакта к переходу "металл-полупроводник", заключающийся в том, что предлагается проводить отжиг пленки аморфного гидрогенизированного кремния, напыленного на слой металла палладия, который является металлическим контактом. В этом случае при отжиге, наряду с эффузией водорода, происходит образование слоя силицида палладия [3].

Наиболее близким по технической сущности и реализации к заявляемому способу является способ создания омических контактов в тонкопленочных устройствах на аморфных нелегированных гидрогенизированных полупроводниках, заключающийся в осаждении пленки полупроводника на подложку, в формировании маскирующего диэлектрического слоя, фотолитографии для вскрытия окон в диэлектрическом слое и напылении металлических электродов с последующей фотолитографией по металлу, причем непосредственно перед формированием маскирующего диэлектрического слоя производят операцию отжига пленки полупроводника при температуре эффузии водорода с поверхности пленки в пределах от 20 до 30 минут [4].

Задача предлагаемого изобретения состоит в исключении термического отжига при температуре эффузии водорода, который может оказывать влияние на электрофизические параметры пленки аморфного полупроводника, и использовании идеи создания "нарушенного" слоя на контакте металл - полупроводник для создания поверхностных омических контактов к пленочным нелегированным аморфным полупроводникам, причем не только гидрированным.

Указанная задача решается вводом в технологический процесс создания тонкопленочных устройств на a-Si:H (и других аморфных полупроводниках) после осаждения пленки полупроводника на подложку вместо операции отжига пленки полупроводника при температуре эффузии водорода с поверхности пленки или
 5 дополнительного легирования пленки под омический контакт с использованием токсичных и взрывоопасных газов фосфин или диборан дополнительной технологической операции ионной имплантации (бомбардировки) пленки аморфного полупроводника ионами инертного газа (например, аргона).

Операция ионной имплантации заключается в бомбардировке твердых тел пучками ускоренных ионов с энергиями от 10 кэВ до 1 МэВ. В процессе ионной имплантации изменяется структура и свойства поверхности твердого тела. В частности, ионная имплантация приводит к возникновению дополнительных дефектов (нарушенный
 10 слой) в структуре материала, т.е. вызывает увеличение плотности состояний [5, стр.539-557]. В кристаллических полупроводниках для обеспечения надежного контакта (выпрямляющего или омического) этот слой затем стравливают. В случае аморфных полупроводников образование поверхностного дефектного слоя приводит к увеличению плотности состояний, локализованных в щели подвижности (запрещенной
 15 зоне) аморфного полупроводника вблизи уровня Ферми [6] в приповерхностной области. Увеличение плотности состояний в неупорядоченных полупроводниках обуславливает перераспределение напряженности электрического поля на контакте металл - полупроводник. Плотность объемного заряда достигает максимальных значений вблизи границы раздела металл - полупроводник, что приводит к утончению
 20 профиля электростатического потенциала в ОПЗ и понижению эффективной высоты барьера за счет туннелирования носителей заряда сквозь тонкий барьерный слой [7].

Глубина проникновения ионов возрастает с увеличением их энергии. Если энергия, переданная атому решетки, превышает энергию связи атомов в твердом теле, то атом
 30 покидает узел и образуется дефект. Атомы, находящиеся на поверхности, получив энергию от иона, могут отрываться от твердого тела - происходит процесс распыления.

Энергия первично смещенного атома, называемого атомом отдачи, сравнительно велика, поэтому на пути своего движения атом отдачи образует целый каскад
 35 смещений, вследствие чего в твердом теле возникают дополнительные разупорядоченные области размером 3-10 нм. По мере имплантации ионов идет накопление радиационных дефектов. Когда плотность ионов, внедренных на единицу поверхности, превосходит критическую, называемую дозой аморфизации, образуется
 40 сплошной аморфный слой. Большинство внедренных ионов находится в междоузлиях, где они не являются электрически активными.

Расчет среднего полного пробега R и среднеквадратичного отклонения пробега ΔR для ионов Ar (атомный номер - 18, относительная атомная масса - 39.95) в Si (атомный
 45 номер - 14, относительная атомная масса - 28.09).

Для расчетов используются формулы, где энергия и пробег выражены в безразмерных единицах ε и ρ соответственно:

$$R = \rho / L, \quad (1)$$

$$\rho = \frac{2}{k} \varepsilon^{1/2} \left(1 + \frac{\varepsilon k}{3\beta}\right) - \frac{2c/k}{k\sqrt{c/k+d}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\varepsilon}{c/k+d}}, \quad (2)$$

$$\varepsilon = FE, \quad (3)$$

$$L = \pi a^2 \gamma N_2, \quad (4)$$

$$F = \frac{6.9 \cdot 10^6 a M_2}{Z_1 Z_2 (M_1 + M_2)}, \quad (5)$$

где L - нормирующий множитель пробега, см⁻¹;

F - нормирующий множитель энергии, эВ⁻¹.

Радиус экранирования заряда ядра атомными электронами (см):

$$a = \frac{4.7 \cdot 10^{-9}}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}} \quad (6)$$

Коэффициент передачи ионом с массой M₁ атому с массой M₂ максимально возможной энергии при лобовом столкновении

$$\gamma = 4M_1 M_2 / (M_1 + M_2)^2 \quad (7)$$

Коэффициенты, учитывающие торможение, обусловленное электронным взаимодействием:

$$k = 2.47 \cdot 10^{11} Z_1^{2/3} \sqrt{Z_2 / M_2} (a(1 + M_2 / M_1))^{3/2}, \quad (8)$$

$$\beta = 6.16 \cdot 10^3 Z_2 M_1 F \quad (9)$$

Параметры, учитывающие торможение, обусловленное ядерным взаимодействием, c=0.45, d=0.3. Собственная концентрация атомов мишени N₂ (для кремния N₂=4.98·10²² см⁻²). Z₁ - заряд ядер иона, Z₂ - заряд ядер атома мишени.

Рассчитаем средний пробег ионов аргона в кремнии с E=10 кэВ. Радиус экранирования:

$$a = \frac{4.7 \cdot 10^{-9}}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}} = \frac{4.7 \cdot 10^{-9}}{(18^{2/3} + 14^{2/3})^{1/2}} = 1.32 \cdot 10^{-9} [\text{см}] \quad (10)$$

Коэффициент передачи максимальной энергии:

$$\gamma = 4M_1 M_2 / (M_1 + M_2)^2 = 4 \cdot 39.95 \cdot 28.09 / (39.95 + 28.09)^2 = 0.97 \quad (11)$$

Коэффициент электронного торможения

$$k = 2.47 \cdot 10^{11} Z_1^{2/3} \sqrt{Z_2 / M_2} (a(1 + M_2 / M_1))^{3/2} = 0.128 \quad (12)$$

Нормирующие множители для энергии и пробега:

$$F = \frac{6.9 \cdot 10^6 a M_2}{Z_1 Z_2 (M_1 + M_2)} = 1.492 \cdot 10^{-5} \text{эВ}^{-1}. \quad (13)$$

$$L = \pi a^2 \gamma N_2 = 2.643 \cdot 10^5 \text{см}^{-1}. \quad (14)$$

Безразмерные энергии

$$\varepsilon = FE = 0.149 \quad (15)$$

$$\beta = 6.16 \cdot 10^3 Z_2 M_1 F = 51.41 \quad (16)$$

Полный пробег в безразмерных единицах:

$$\rho = \frac{2}{k} \varepsilon^{1/2} \left(1 + \frac{\varepsilon k}{3\beta}\right) - \frac{2c/k}{k\sqrt{c/k+d}} \arctg \sqrt{\frac{\varepsilon}{c/k+d}} = 0.546 \quad (17)$$

Выразим пробег в размерных единицах:

$$R = \rho / L = 2.067 \cdot 10^{-6} \text{см} = 0.02 \text{мкм} \quad (18)$$

Средний нормальный пробег связан со средним полным пробегом:

$$R_p = f \cdot R \quad (19)$$

Корректирующая поправка, обусловленная упругим рассеянием иона

$$f = \left(1 + \frac{1}{3} \frac{M_2}{M_1} \sqrt{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon}}\right)^{-1}, \quad (20)$$

где полная энергия, затраченная на упругое рассеяние иона,

$$\varepsilon_n = \frac{c}{k} \ln \left(1 + \frac{\varepsilon}{c/k + d} \right) \quad (21)$$

($\varepsilon_n=0,135$, $f=0,818$, $R_p=0.0169$ мкм)

Стандартное среднеквадратичное отклонение нормального пробег

$$\Delta R_p = R_p \sqrt{\frac{\rho}{9\varepsilon} (\gamma + \mu) \text{Sn}(\varepsilon)}, \quad (22)$$

$$\mu = M_2 / M_1, \quad (\mu = 0,703) \quad (23)$$

ядерная тормозная способность $\text{Sn}(\varepsilon)$:

$$\text{при } \varepsilon \leq 10 \text{ Sn}(\varepsilon) = c\varepsilon^{1/2} / (d + \varepsilon) \quad (\text{Sn} = 0,387) \quad (24)$$

$$\text{при } \varepsilon > 10 \text{ Sn}(\varepsilon) = (2\varepsilon)^{-1} \ln(1.29\varepsilon) \quad (25)$$

$R_p=0.008672$ мкм

Профиль распределения аргона в пленке кремния представлен на Фиг.1.

Расчет распределения напряженности электрического поля в области пространственного заряда (ОПЗ) по координате в этом случае проводится согласно уравнению:

$$F(\varphi) = - \sqrt{\frac{2}{q^2 \cdot L_n^2 \cdot \alpha^2} [\exp(\alpha \cdot q\varphi) - 1] - \frac{2}{q \cdot L_n^2 \cdot \alpha} \varphi + \frac{2 \cdot kT^2}{q^2 \cdot L_d^2} \cdot \left[\exp\left[\frac{q\varphi}{kT}\right] - 1 \right]}, \quad (28)$$

где: $L_n = \sqrt{\frac{\varepsilon_s \cdot \varepsilon_0}{q^2 \cdot g_{f0}}}$ - длина экранирования внешнего электрического поля зарядом

ионизированных глубоких состояний, м;

$$L_d = \sqrt{\frac{\varepsilon_s \cdot \varepsilon_0 \cdot kT}{q^2 \cdot n_0}} \quad \text{- дебаевская длина экранирования, м.}$$

Уравнение (28) является трансцендентным, поэтому решения в аналитическом виде не имеет. На Фиг.2 представлена зависимость $F(\varphi)$, заданная уравнением (28), при следующих значениях величин для $\varepsilon_s=11.8$, $g_{f0}=10^{16}$ эВ⁻¹·см⁻³, $\alpha=4.47$ эВ⁻¹, $n_0=10^{10}$ см⁻³.

Значение напряженности поля при положительном потенциале отрицательно, в связи с этим для лучшей наглядности на графике отображен модуль величины $F(\varphi)$.

Расчет распределения потенциала в области пространственного заряда (ОПЗ) $\varphi(x)$ по координате вблизи поверхности в этом случае проводится согласно уравнению:

$$\varphi_c(x) = -2 \cdot \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{x}{\sqrt{2} \cdot L_n} + \exp \left(- \frac{q\varphi_0}{2 \cdot kT} \right) \right), \quad (29)$$

где φ_0 - потенциала на поверхности пленки, В.

Распределение потенциала в ОПЗ по координате $\varphi(x)$ вблизи поверхности представлено на Фиг.3.

С увеличением плотности состояний вблизи уровня Ферми (g_{f0}) или с уменьшением характеристической длины L_n потенциал, определяемый из формулы (29), в зависимости от координаты меняет характер своего изменения: вблизи границы раздела металл - аморфный полупроводник (при $x=0$) $\varphi(x)$ резко спадает и далее наблюдается протяженный пологий участок до $x=L$. При этом толщина барьера вблизи контакта становится достаточно малой (при плотности состояний $g(E) \sim 10^{18}$ см⁻³ эВ⁻¹ ширина ОПЗ $L \sim 10^{-7}$ см) и возникает вероятность туннельного прохождения тока. На вольтамперной характеристике перехода металл - a-Si:H это будет отмечено большими значениями тока при фиксированном напряжении, что может быть расценено как эффективное снижение потенциального барьера (Фиг.4).

Сравнительный анализ с прототипом показывает, что заявляемый способ позволяет исключить вероятность изменения электрофизических характеристик при отжиге, что отличает его от прототипа. Кроме того, заявляемый способ позволяет совместить операции ионно-плазменной очистки и ионной имплантации атомов аргона, которая и

Таким образом, заявляемый способ соответствует критерию изобретения "новизна", так как в известных источниках не обнаружена предложенная технология создания омического контакта к аморфным полупроводникам.

Следовательно, предлагаемое техническое решение обладает существенными отличиями, а последовательность операций при создании омического контакта отличается от существующих.

Сущность изобретения поясняется чертежами. На фиг.1 представлен профиль распределения аргона в пленке кремния при заданных технологических режимах ионной имплантации.

На фиг.2 представлена зависимость напряженности электрического поля от потенциала в ОПЗ неупорядоченного полупроводника, рассчитанная по формуле (28).

На фиг.3 представлено распределение потенциала в пленке неупорядоченного полупроводника, рассчитанное по формуле (29).

На фиг.4 представлена энергетическая диаграмма контакта металл - аморфный полупроводник для различной плотности локализованных состояний вблизи уровня Ферми, связанной с различной концентрацией электрически активных дефектных состояний типа «оборванных связей» у поверхности пленки a-Si:H.

Очевидно, что с ростом $g(E_F)$ происходит уменьшение ширины ОПЗ $L > L_1 > L_2$ и изменение хода зависимости $\varphi(x)$, в результате чего эффективная высота барьера φ_B уменьшается $\varphi_B > \varphi_{B1} > \varphi_{B2}$ из-за увеличения вероятности туннельного протекания тока сквозь тонкий приконтактный барьер. На ВАХ этот эффект идентифицируется как надбарьерная эмиссия при уменьшении эффективной высоты потенциального барьера φ_B между металлом и полупроводником.

При создании поверхностного омического контакта применительно к пленке a-Si:H заявляемое техническое решение сводится к исключению из техпроцесса изготовления тонкопленочного устройства на a-Si:H и других аморфных полупроводниках (не только гидрированных) операций отжига при температуре эффузии водорода с поверхности пленки или легирования пленки под контакт с применением токсичных и взрывоопасных газов фосфин и диборан, и замене их операцией ионной имплантации (бомбардировки) ионами инертного газа, например аргона, через вскрытые в диэлектрике окна, проводимой непосредственно перед напылением металлических электродов.

Таким образом, заявляемое техническое решение имеет теоретическое и экспериментальное обоснование и позволит исключить вероятность изменения электрофизических характеристик пленок неупорядоченных полупроводников при отжиге. Кроме того, заявляемый способ пригоден не только для гидрированных аморфных полупроводников типа a-Si:H, но и для других аморфных полупроводниковых соединений.

Данный способ предлагается для реализации предприятиям и организациям, занимающимся разработкой и выпуском приборов на некристаллических (аморфных) полупроводниках.

Источники информации

1. У.Спир, П.Ле-Комбер. Фундаментальные и прикладные исследования материала,

приготавливаемого в тлеющем разряде. /в кн. Физика гидрогенизированного аморфного кремния./ Под ред. Дж.Джоунопулоса, Дж.Люковски. Вып.1. М.: Мир. 1987, 368 с.

2. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1985, с.160, 1420.

3. Ohmic contacts for hydrogenated amorphous silicon. / Nemanich R.J., Thompson M.J. // United States Patent №4, 529, 619 (1984).

4. Способ создания омических контактов в тонкопленочных устройствах на аморфных нелегированных гидрогенизированных полупроводниках. / Вихров С.П. и др. // Патент РФ №2229755, 2004.

5. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции. / Под ред. Дж.Поутта, К.Ту, Дж.Мейера. Пер. с англ. Под ред. В.Ф.Киселева, В.В.Поспелова. М.: Мир, 1982, 576 с.

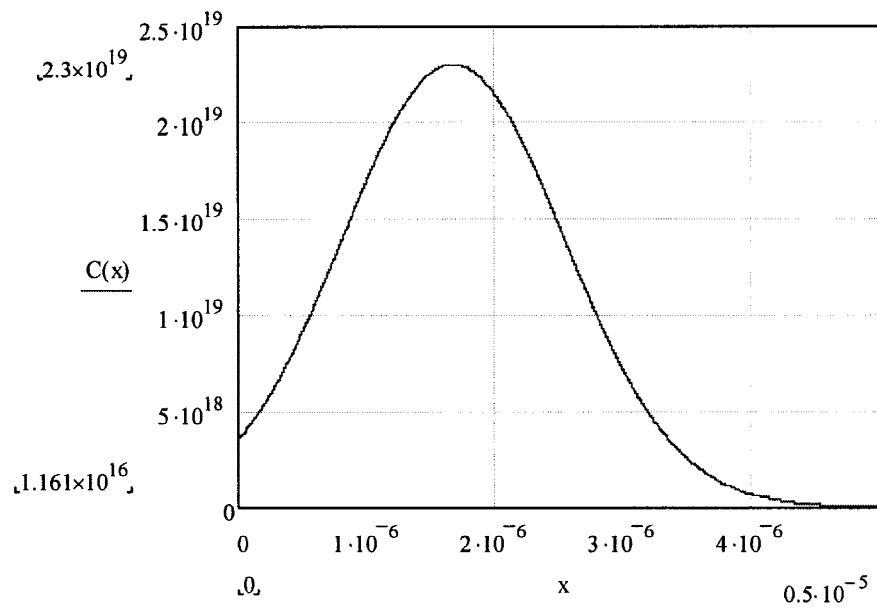
6. Меден А., Шо М. Физика и применение аморфных полупроводников: Пер. с англ. М.: Мир, 1991, 670 с.

7. Вишняков Н.В., Вихров С.П., Мишустин В.Г., Авачев А.П., Уточкин И.Г., Попов А.А. Формирование потенциальных барьеров в нелегированных неупорядоченных полупроводниках. // ФТП. 2005. Том 39. Вып.10. Стр 1189-1194.

Формула изобретения

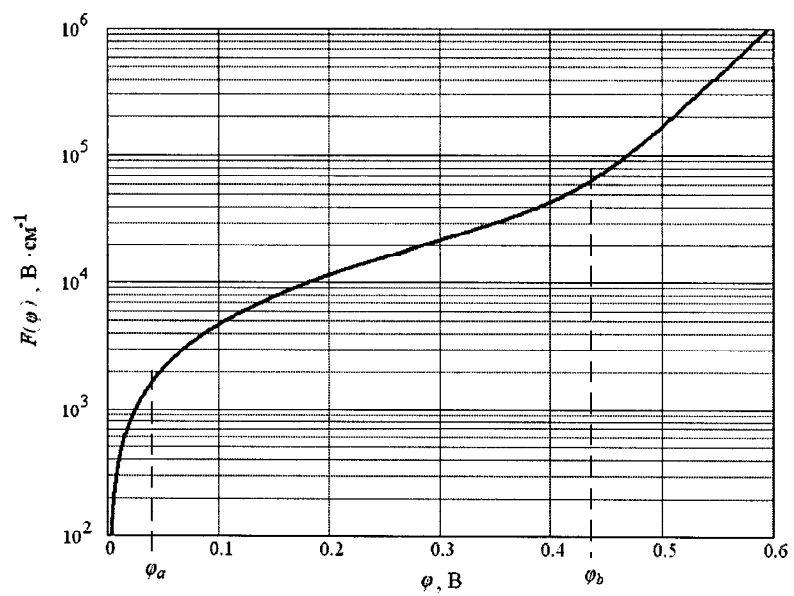
Способ создания омических контактов в тонкопленочных устройствах на аморфных нелегированных полупроводниках, заключающийся в осаждении пленки полупроводника на подложку, в формировании маскирующего диэлектрического слоя, фотолитографии для вскрытия окон в диэлектрическом слое и напылении металлических электродов с последующей фотолитографией по металлу, отличающийся тем, что непосредственно перед напылением металлических электродов производят операцию ионной бомбардировки пленки полупроводника ионами инертного газа, например аргона, через вскрытые в диэлектрике окна.

Профиль распределения аргона в пленке аморфного кремния.



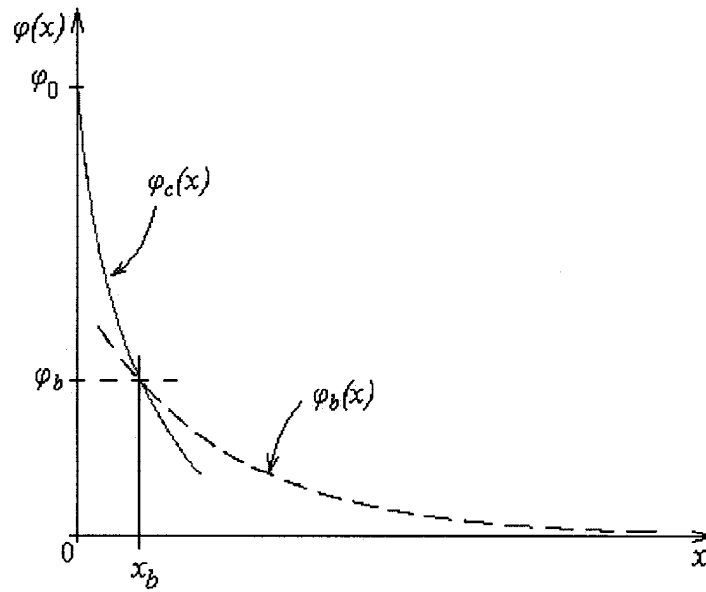
Фиг. 1

Зависимость напряженности электрического поля от потенциала в ОПЗ неупорядоченного полупроводника



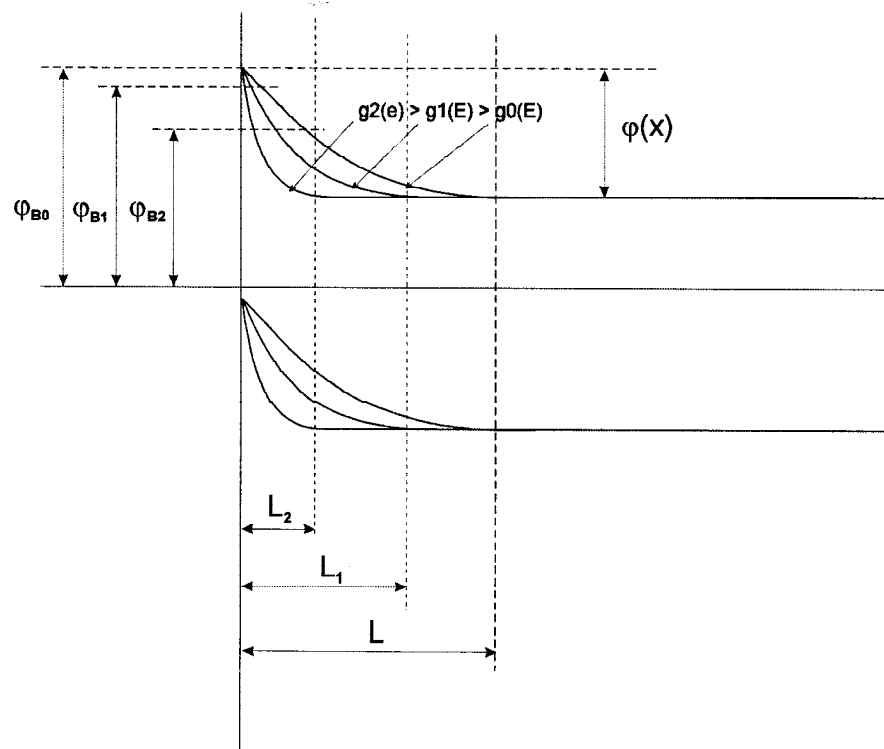
Фиг. 2

Распределение потенциала в пленке неупорядоченного полупроводника



Фиг. 3

Энергетическая диаграмма контакта металл – аморфный полупроводник для различной плотности локализованных состояний вблизи уровня Ферми



Фиг. 4