

ПРИМЕНЕНИЕ АМОРФНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА
 $Al - Ni$ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НАДЕЖНЫХ КРЕМНИЕВЫХ
ДИОДОВ ШОТТКИ И СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ш.Г.АСКЕРОВ, М.Н.АГАЕВ, И.Г.ПАШАЕВ,
М.Г.ГАСАНОВ, Т.Т.ТАГИЕВА
*Институт Физических проблем
Бакинского Государственного Университета*

Предложено использование аморфного металлического сплава $Al_{80} - Ni_{20}$ в качестве барьерообразующего контакта в диодах Шоттки и омического контакта в кремниевых солнечных элементах (СЭ) на основе $p - n$ перехода. Описана технология нанесения пленок с аморфной структурой и получение диодов Шоттки и кремниевых СЭ с их применением. Определены основные параметры исследуемых диодов Шоттки и СЭ.

Поиск новых материалов, повышающих качество и надежность полупроводниковых приборов, продолжается и сегодня. В свете этого предлагаемый нами аморфный металлический сплав $Al_{80} - Ni_{20}$, обладая рядом уникальных свойств, является перспективным материалом при получении диодов Шоттки и кремниевых СЭ.

Чистый Al , имея низкое сопротивление, высокую теплопроводность, низкую стоимость и хорошо налаженную технологию изготовления широко распространен в полупроводниковой микроэлектронике.

Однако использование чистого Al имеет ряд недостатков. В первую очередь это связано с поликристаллической структурой Al , которая является основным фактором ускоряющим деградацию полупроводниковых приборов. Для предотвращения деградации используются различные методы, среди которых наиболее эффективным является введение в структуру тонкой пленки обладающей хорошими антидиффузионными свойствами. Довольно часто в качестве таких пленок используют аморфные пленки, выбор которых обусловлен следующими причинами:

1. Прочность пленки, обусловленная отсутствием внутренних микроскопических структурных дефектов, которые присущи поликристаллическим металлам и является центрами напряжений и первопричинной разрушения материалов.
2. Нерегулярностью структуры, обеспечивающие сильное замедление диффузии.

3. Отсутствие зернистой микроструктуры поверхности и как следствие отсутствие границ зерен, которые являются основными транспортными путями миграции атомов металла в полупроводник.

Мы считаем, что использование аморфных пленок возможно не только в качестве антидиффузионной прослойки, но и в качестве барьерообразующего и омического контакта. Из целого ряда металлических сплавов, склонных к аморфизации $Nb - Ni$, TiW , $Mo - Ni$, $Fe - W$, $TiCu$ нами предложено использование металлического сплава $Al - Ni$.

Выбор этого металлического сплава обусловлен следующими соображениями.

1. Склонность данного сплава к аморфизации.
2. Низкое сопротивление и Al и Ni .
3. Хорошо налаженное производство Al и Ni .
4. Экономическая целесообразность.
5. Технологичность.

Для напыления пленки металлического сплава $Al - Ni$ с аморфной структурой использована промышленная установка «ОРАТОРИЯ-9», позволяющая получать пленки методом электронно-лучевого испарения из двух источников. Условия испарения выбирались, таким образом, чтобы атомное соотношение металлов в сплаве соответствовало $Al_{80} - Ni_{20}$. В таблице 1 указаны условия, при которых удалось получить нужное концентрационное соотношение.

Таблица 1

Рабочий вакуум	$P = 5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст.
Температура подложки	$T = 523K$
Ток испарения Al	$I_{Al} = 12$ мкА
Ток испарения Ni	$I_{Ni} = 2.2$ мкА
Время испарения	$T = 300$ сек
Толщина пленки	$d_{AlNi} = 0.5$ мкм

С целью исследования микроструктуры и поверхности пленок применялся рентгеноструктурный анализ и растровая электронная микроскопия. На рис.1 представлена типичная картина микроструктуры поверхности чистой пленки, алюминия, никеля и аморфной пленки сплава $Al - Ni$, сделанная на растровом электронном микроскопе РЭМ. Как видно из рис.1., поверхность пленки Al имеет зернистую структуру, и четко видны границы зерен, которые являются ускоряющими факторами деградиационных процессов, характерные для поликристаллической структуры. В отличие от нее, на поверхности металлической пленки $Al_{80} - Ni_{20}$ зернистая структура не наблюдается, что свидетельствует об аморфной структуре исследуемой металлической пленки.

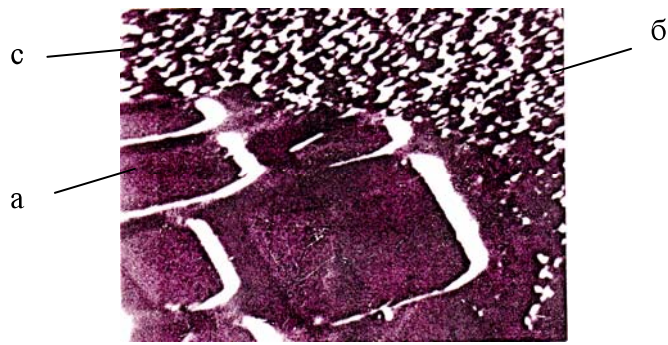


Рис. 1. Снимок растрового электронного микроскопа
 а- полукристаллический Al
 б- аморфный металлический сплав $Al_{80} - Ni_{20}$
 с- граница зерен

Для изготовления диодов Шоттки напыление металлического сплава $Al_{80} - Ni_{20}$ производится на обработанную кремниевую подложку $n-Si(III)$ с удельным сопротивлением $\rho = 0.7 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Были получены две партии диодов Шоттки с площадью $S = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2$ и $S = 1,12 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2$.

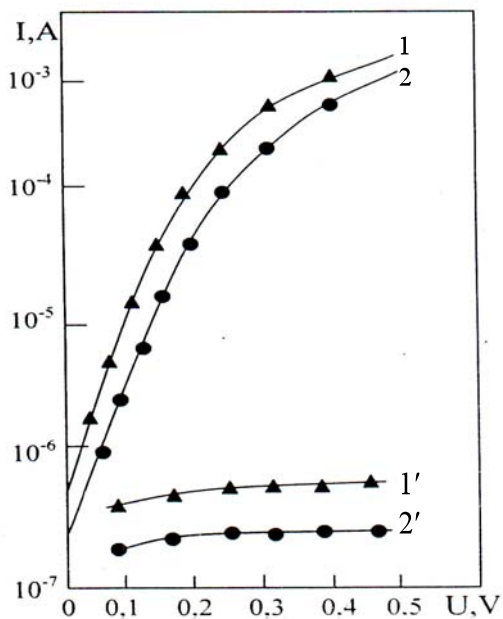


Рис.2. ВАХ $(Al - Ni) - nSi$ ДШ в прямом (1,2) и обратном (1', 2') направлениях

На рис. 2 приведены типичные прямые и обратные ветви ВАХ $(Al-Ni)-nSi$ ДШ в полулогарифмическом масштабе. Как видно, значение токов насыщения, найденные из прямых и обратных ветвей, совпадают. Для одного и того же уровня обратного тока ($I_{обр} = 10 \mu A$) наблюдалась тенденция уменьшения напряжения пробоя с ростом площади. Параметры изученных диодов структур, усредненные по 6 диодам, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры	Образцы	
	ДШ (1)	ДШ(2)
$S, \text{ см}^2$	$1,12 \cdot 10^{-6}$	$1,12 \cdot 10^{-5}$
$\Phi_B, \text{ эВ}$	$0,450 \pm 0,006$	$0,485 \pm 0,003$
N	$1,13 \pm 0,40$	$1,15 \pm 0,03$
$U_{проб.} \text{ В}$	12,4	5,6
$I_{обр}, \mu A$	10	10

Температурные зависимости ВАХ $(Al-Ni)-nSi$ ДШ обрабатывались методом энергии активизации. Результаты исследований представлены на рис. 3. Используя этот метод были определены эффективные значения высот барьера и постоянной Ричардсона, между которыми установлена корреляция, найденная ранее $Al-nSi$ контактов:

$$A_i^* e^{-\frac{\Phi_B}{kT}} = B = const, \quad (1)$$

где B – постоянная для данной границы раздела контакта металл-полупроводник. Эта корреляция в случае контакта $(Al-Ni)-nSi$ представлена на рис.4, согласно которому

$$B = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ A/cm}^2 - \text{K}^2. \quad (2)$$

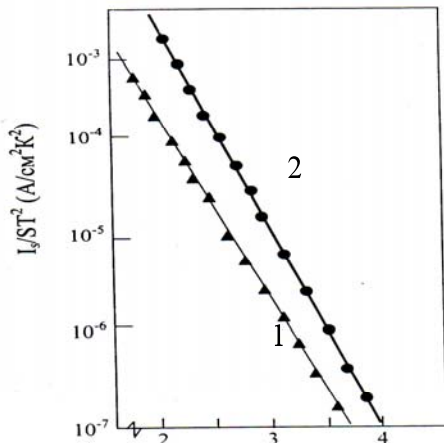


Рис.3. Зависимость (I_j/ST^2) $(Al-Ni)-nSi$ ДШ от $10^3/T$

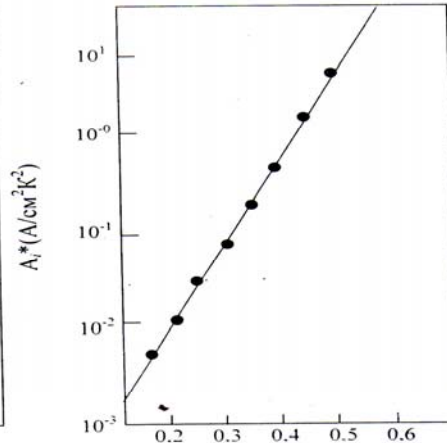


Рис.4. Зависимость A_i^* от $\Phi_{B i}$

1-ДШ (1); 2- ДШ (2)

В таблице 3 сведены экспериментальные данные высоты барьера Φ_B , коэффициент неидеальности n , контактное сопротивление R в зависимости от температуры для $(Al - Ni) - nSi$ ДШ обеих площадей, найденные по методу ВАХ.

Таблица 3

Исследуемые образцы Параметры Т, К	Диод Шоттки 1			Диод Шоттки 2		
	Φ_B , эВ	n	R , Ом	Φ_B , эВ	n	R , Ом
290	0,451	1,12	83,0	0,492	1,00	104,2
313	0,476	1,20	78,3	0,516	1,10	96,4
333	0,489	1,10	87,3	0,532	1,02	106,3
353	0,500	1,00	75,5	0,550	1,10	72,4
373	0,511	1,00	88,7	0,554	1,03	89,4
393	0,572	1,00	105,0	0,554	1,00	109,4
413	0,520	1,06	99,0	0,559	1,08	75,7

Также в работе исследована возможность применения металлической пленки $Al_{80} - Ni_{20}$ аморфной структурой в качестве омического контакта и токособирающей дорожки при изготовлении солнечных батарей [1-6]. Характерным свойством также является относительная технологическая простота лужения в проведении сборочных процессов, что при производстве солнечных батарей играет немаловажную роль, так как исключает использование таких дорогих металлов как золото, серебро и т.д.

Структура изготовленного ФП представлена на рис.5. Для получения мелких диффузионных n^+ и p^+ областей использовалась серийная установка ДОМ-3. Температура рабочей зоны реактора составляла 950^0 С, в качестве технологических газов использовались N_2, O_2 . Источником фосфора являлся PCl_3 .

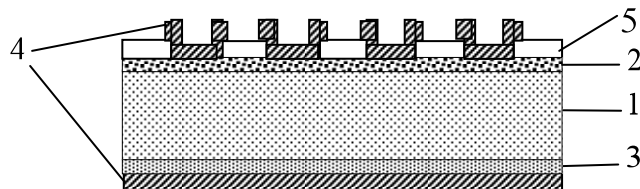


Рис. 5. Структура фотопреобразователя.

1- $p - Si$ КДБ10 (111) ($N_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$)

2- $n^+ - Si$ (фосфор) ($N_D = 1 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$)

3- $p^+ - Si$ (бор) ($N_A = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$)

4- Омический контакт из аморфного металлического сплава $Al_{80} - Ni_{20}$.

5- Просветляющее покрытие фосфорисиликатое стекло (ФСС)

В качестве подложек применялись пластины монокристаллического кремния типа КДБ -10 (111) толщиной 280 мкм. Значение удельного сопротив-

ления подложки составило в среднем $9 \text{ ОМ} \cdot \text{см}$; соответствующая величина концентрации примеси составляет примерно $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Процесс получения фотопреобразователя до нанесения омического можно представить следующими основными технологическими операциями:

1. Химическая обработка (перекись аммиачных растворов),
2. Окисление ($T = 1050^{\circ} \text{C}$, O_2 , N_2 , $\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}$),
3. Удаление SiO_2 с тыльной стороны ($\text{H}_2\text{O} : \text{HF}$),
4. Химическая обработка (перекись аммиачных растворов),
5. Диффузия бора (BBr_3),
6. Удаление SiO_2 с фронтальной стороны ($\text{H}_2\text{O} : \text{HF}$),
7. Химическая обработка (перекись аммиачных растворов),
8. Диффузия фосфора (PCl_3).

До металлизации фоточувствительные структуры разделили на три группы.

Затем, на первую группу структур напылили пленку полукристаллического Al .

На вторую группу структур напылили пленку полукристаллического Ni .

На третью группу структур напылили пленку аморфно металлического сплава $p-n$.

Процесс создания металлизации к структурам имеет ряд последовательных технологических циклов:

1. Фотолитография (вскрытия окна на фронтальной стороне).
2. Химическая обработка (перекись аммиачных растворов).
3. Нанесение металлической пленки на фронтальную сторону.
4. Фотолитография по металлу.
5. Нанесение металлической пленки на тыльную сторону.

В конечном итоге на фронтальной стороне структуры мы получали рисунок с одинаковым шагом, а с тыловой стороны сплошной металлический контакт.

На изготовленных структурах определялись:

- тип проводимости диффузионного слоя,
- толщина области $n^+(d_n)$;
- удельное поверхностное сопротивление подложек ($R_{s\text{пл}}$) и диффузионных слоев ($R_{s\text{дс}}$);
- объемное удельное сопротивление подложек ($\rho_{v\text{пл}}$) и диффузионных слоев ($\rho_{v\text{дс}}$);
- концентрация примеси (N);
- ток, замыкания которого ($I_{кз}$) и напряжение холостого хода ($U_{хх}$).

Значение d_{p-n} определялось методом сферического шифа в нескольких «точках» структуры по границе раздела с помощью микроскопа.

Измерение $R_{s\text{пл}}$ и $R_{s\text{дс}}$ проводилось 4-х зондовым методом [5]. Величины $\rho_{v\text{пл}}$ и $\rho_{v\text{дс}}$ рассчитывались по формуле:

$$\rho_{v\partial c} = R_s d,$$

где d - толщина подложки или диффузионного слоя.

Величина N определялась по экспериментально измеренным зависимостям удельного сопротивления от концентрации примеси в кремнии n типа при легировании фосфором [6].

Величины $I_{кз}$ и $U_{хх}$ определялись из нагрузочной вольтамперной характеристики.

Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Параметры Структуры	$I_{кз}$ мА	$U_{хх}$ В	$R_{s.p+}$, Ом	$R_{s.n+}$, Ом	$\rho_{v.p+}$ Ом	$\rho_{v.n+}$ Ом
I группа (Al)	22	0,520	140	40	700	12
II группа (Ni)	19,5	0,490	140	40	700	12
III группа $Al_{80} - Ni_{20}$	21	0,545	140	40	700	12

При этом необходимо отметить, что после лужения СЭ ток короткого замыкания $I_{кз}$ возрастал до величины 30 мА и максимальный КПД, снимаемый с СЭ, равнялся 11, 72%.

Обратим внимание на то, что кремниевый фотопреобразователь на $p-n$ переходе с омическим контактом $Al_{80} - Ni_{20}$, изготовленный в 1987 году после 20 – летней эксплуатации уменьшает свою эффективность менее чем на 10%. При этом фотопреобразователи на $p-n$ переходе с омическими контактами из поликристаллического металла уменьшили свою эффективность более чем на 20%. Данный факт свидетельствует о надежности и продолжительном сроке службы, предложенной нами, солнечной батареи.

Таким образом, можно сделать заключение, что использование $Al_{80} - Ni_{20}$, во первых, повысить стабильность и надежность, во вторых, увеличить срок службы солнечных батарей и в третьих, понизить себестоимость преобразуемой солнечной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Августимов В.Л., Белоусова Т.Н., Власкина С.И. и др. Современное состояние фото-преобразования энергии с использованием кремниевых солнечных элементов // ОПТ, 1995, №30, с. 120-154.
2. Аскеров Ш.Г., Асланов Ш.С., Пашаев И.Г. Электрические свойства контакта кремния с аморфным металлическим сплавом Al-Ni / Тезисы докладов Всесоюзной конференции “Физика и применение контакта металл-полупроводник”, Киев: 1987, с.16.
3. Аскеров Ш.Г., Агаев М.Н., Гасанов М.Н. и др. Н.А. Исследование солнечных элементов на основе р-п-перехода из р-Si с различной металлизацией / Материалы научно-технической конференции “Связь и Наука”. Баку: 2002, с.125.
4. Аскеров Ш.Г., Агаев М.Н., Гасанов М.Г. и др. Использование аморфного сплава Al-Ni в солнечных элементах в качестве металлизации / Материалы Международной конференции “Физика 2005”. Баку: 2005, с.715 – 715.

5. Графф К., Фишер К. Время жизни носителей в кремнии и его влияние на характеристики солнечных элементов. М.: Энергоиздат, 1982, с.319.
6. Заявлин В.Р. Температурная деградация солнечной фотоэлектрической батареи // Гелиотехника, 1999, №5, с.3-17.

**ETİBARLI SİLİSİUM ŞOTTKI DİODLARININ VƏ
GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNİN HAZIRLANMASINDA
 $Al - Ni$ AMORF METALLİK XƏLİTƏSİNİN TƏTBİQİ**

**S.G.ƏSGƏROV, M.N.AĞAYEV, İ.G.PAŞAYEV,
M.H.HƏSƏNOV, T.T.TAĞIYEVA**

XÜLASƏ

$Al_{80} Ni_{20}$ amorf metallik xəlitəsindən Şottki diodlarında baryer əmələgətirici kontakt kimi və $p - n$ keçidi əsasında silisium Günəş elementlərində omik kontakt kimi istifadə olunması təklif edilmişdir. Amorf strukturlu təbəqələrin alınması texnologiyası və tətbiqi ilə silisium Günəş elementlərinin və Şottki diodlarının alınması təsvir olunmuşdur. Tədqiq olunan Şottki diodlarının və Günəş elementlərinin əsas parametrləri təyin olunmuşdur .

**THE APPLICATION OF AMORPHOUS METAL ALLOYS OF
 $Al - Ni$ IN THE MANUFACTURE OF RELIABLE SILICON
DIODES OF SCHOTTKY AND SOLAR CELLS**

Sh.G.ASKEROV, M.N.AGAYEV, I.G.PASHAYEV, M.G.HASANOV, T.T.TAQIYEVA

SUMMARY

The offer to use $Al_{80} - Ni_{20}$ amorphous metal alloys as a barrier-formative contact in schottky diodes & ohmic contact in silicon solar cells on the basis of $p - n$ transition was put forward in the paper. The current work describes the technology of the deposition of a membrane with an amorphous structure and also its application to get Schottky diodes & Silicon Solar Cells. The parameters of the investigated Schottky diodes & Solar Cells are interpreted in the article.