

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Справочник по физическим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова, Энергоатомиздат. 1985. С. 135-139, 163-164.
- [2] Х е ф е р Р. Криовакуумная техника, „Энергоатомиздат“, 1983. С. 236.
- [3] К о в а л е н к о С.И., С о л о д о в н и к А.А. // ФНТ. Т. 11. № 2. С. 206-208.
- [4] Л и п с о н А.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 12. В. 21.
- [5] Л о п а т е н к о С.В. // Заводская лаб. 1986. № 3. С. 25-28.
- [6] Р а ш б а Э.И., Ш е р м а н Е.Я. // ФНТ. 1986. Т. 12. № 10.
- [7] Ф у г о л ь И.Я. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 8. С. 308-311.
- [8] К а р т у ж а н с к и й А.Л. и др. // ЖНиПФИК. Т. 33. № 5. С. 381.
- [9] Взрывобезопасность воздухоразделительных установок / Под ред. В.П. Белякова, В.И. Файнштейна, Химия, 1986. С. 19-26.

Поступило в Редакцию
2 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 1 12 января 1990 г.

06.2; 07

© 1990

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ $p-i-n$ СТРУКТУР И СТРУКТУР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА ОСНОВЕ $\alpha-Si:H$ В ОБЛАСТИ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ

Ж. А т а е в, В.А. В а с и л ь е в, А.С. В о л к о в,
М.М. М е з д р о г и н а, Е.И. Т е р у к о в

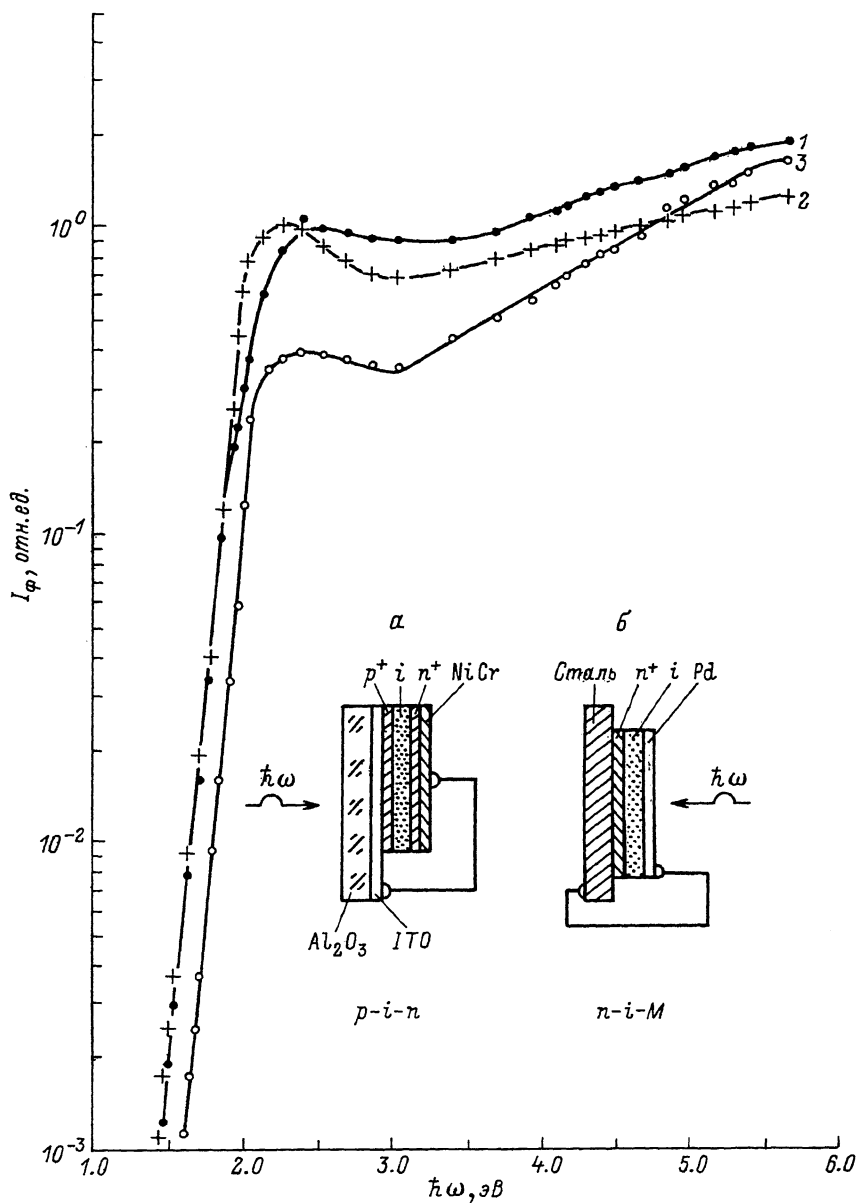
Тонкопленочные $p-i-n$ структуры и структуры с барьером Шоттки ($n-i$ -металл) на основе аморфного гидрогенизированного кремния ($\alpha-Si:H$) являются, как известно, эффективными преобразователями электромагнитного излучения и широко используются для создания солнечных фотоэлементов. Изучение спектральной фоточувствительности таких структур было проведено в ближней ИК и видимой областях спектра, причем было показано, что квантовая эффективность сбора носителей заряда (η_c) может достигать 0.5-0.7 элек/фотон в области энергий $\hbar\omega=2.4-2.5$ эВ [1-4].

Нами обнаружено, что тонкопленочные $p-i-n$ и $n-i-M$ (Pd, Pt) структуры на базе $\alpha-Si:H$ и $\alpha-Si:H \langle Dy \rangle$ обладают исключительно высокой фоточувствительностью в области ближнего УФ излучения, что открывает перспективы создания на их основе эффективных фотоприемников для области энергий фотонов 2–6 эВ.

Пленочные $p-i-n$ и $n-i-M$ структуры были приготовлены путем разложения смеси газов ($SiH_4 - Ar$) в ВЧ тлеющем разряде. p и n слои толщиной $d=150-200 \text{ \AA}$ получались при добавлении в смесь газов B_2H_6 и PH_3 . В качестве i -слоя $d \sim 2000 \text{ \AA}$ использовался нелегированный $\alpha-Si:H$ с концентрацией водорода ~ 12 ат % и $\alpha-Si:H \langle Dy \rangle$, полученный распылением мозаичной мишени ($Si + Dy$) в атмосфере H_2 ионно-плазменным методом. $p-i-n$ структура была приготовлена на сапфировой подложке, причем одним электродом служило ITO , а другим сплав $NiCr$. $n-i-M$ структура формировалась на подложке из нержавеющей стали, которая служила одним из электродов. Полупрозрачный барьерный контакт из Pd и Pt с $d \sim 150 \text{ \AA}$ напылялся вакуумно-термическим испарением на i -слой. На рисунке представлено схематическое изображение исследуемых $p-i-n$ (а) и $n-i-M$ (б) структур. Для изучения фоточувствительности структуры облучались монохроматическим светом от лампы накаливания ($\hbar\omega = 1.5-3$ эВ) и линиями Hg -лампы низкого давления ($\hbar\omega = 2.28-5.64$ эВ) со средней мощностью падающего света $P \approx 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$.

Типичные спектры фототока изученных структур в режиме короткого замыкания представлены на рисунке (кривые 1–3). Как видно, изученные структуры обладают фоточувствительностью не только в области энергий фотонов собственного поглощения света, определяемого произведением αd i -слоя ($\hbar\omega = 1.8-3$ эВ), но и в УФ области спектра вплоть до 5.64 эВ.¹ С ростом энергии квантов УФ излучения, начиная с $\hbar\omega = 3.5$ эВ, наблюдается плавное увеличение фототока, которое, вероятно, связано с ударной ионизацией в i -слое. Следует заметить, что более заметное увеличение фототока наблюдается в случае, когда i -слой создан из $\alpha-Si:H \langle Dy \rangle$ (кривая 3). Это возможно связано с тем, что Dy , введенный в аморфный кремний, формирует уровни типа доноров, которые увеличивают вероятность ударной ионизации. Квантовая эффективность сбора носителей заряда, определенная как $\eta_c = i_{ph}/eN_{ph}$, оказалась равной 0.4–0.5 элек/фотон при $\hbar\omega = 4.88$ эВ. Токовая чувствительность изученных структур составляет 0.1–0.12 А/Вт. Эти оценки показывают, что структуры на основе $\alpha-Si:H$ в области УФ излучения более чувствительны, чем кристаллические фотоприемники на поверхностно-барьерных структурах, например $Au-GaAs_{1-x}P_x$ и $Au-Ga_{1-x}Al_xAs$ [5, 6].

¹ Измерения при $\hbar\omega > 5.64$ эВ не были проведены. Однако анализ спектральной зависимости фототока свидетельствует, что фоточувствительность изученных структур должна сохраняться и при $\hbar\omega > 6$ эВ.



Спектры фототока короткого замыкания $p-i-n$ и $n-i-M$ структур.
 1 - $ITO-p-i-n-NiCr$, 2 - сталь- $n-i-Pd$, 3 - сталь- $p-(i-a-Si: H < \Delta y \rangle)-Pt$.

Фототок приведен к равному числу падающих фотонов. $P=10^{-3}$ Вт/см²,
 $T=293$ К.

Высокие значения η_c , а также спектральная зависимость фоточувствительности в УФ области спектра, свидетельствуют о практическом полном разделении электрон-дырочных пар внутренним полем барьера, а также отсутствие потерь на вылет горячих электронов надбарьерно в металл (или p^+ -слой) и поверхностной рекомбинации носителей на границах раздела. В чем причины высокой квантовой эффективности структур на основе α - $Si:H$ в УФ области спектра? Ведь согласно [3, 4], когда коэффициент в этой области спектра составляет $\alpha \approx 10^6$ см⁻¹, и горячие фотоносители рождаются гораздо ближе к границе с металлом (или p^+ -слоем) и должны легко переходить надбарьерно в металл (или p^+ -слой) и захватываться поверхностными центрами базызлучательной рекомбинации. Однако этого не происходит из-за малой длины свободного пробега носителей заряда, составляющего величину порядка 10-20 Å [1, 2]. Это означает, что термализация горячих носителей заряда в i -слое происходит практически без изменения их координат (по сравнению с размерами объемного заряда барьера), следовательно, приводит к эффективному разделению фотоносителей полем барьера.

Таким образом, проведенные исследования показали, что $p-i-n$ и $n-i-m(Pd, Pt)$ структуры на основе α - $Si:H$ и α - $Si:H < D_y$ могут быть использованы как эффективные фотоприемники в УФ области спектра, обладающие высокой квантовой эффективностью ($\eta_c \approx 0.4-0.5$ элек/фотон), быстродействием и практически не ограниченными приемными площадями.

Авторы выражают благодарность Д. Мелебаеву за техническое содействие при выполнении работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Хамакаева Е. В кн.: Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики. М.: Мир, 1988. С. 139-200.
- [2] Карлсон Д., Вронски К. В кн.: Аморфные полупроводники / Под ред. Бродски М., М.: Мир, 1982. С. 355-411.
- [3] Carlson D.E. // Solar Energy Materials. 1980. V. 3. P. 503-518.
- [4] Okamoto H. // J. Phys. (Suppl.10). 1981. V.42. P.4-16.
- [5] Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра / Под ред. Стафеева В.И., М., 1984. 215 с.
- [6] A t a e v J., B e r k e l i e v A., D u r d i m u r a d o v a M.G., M e l e b a e v D. // Proc. 3th Conf. Phys. and Techn. of GaAs and other III-V Semiconductors, CSSR, Praha, 1988, P. 160-163.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
1 августа 1989 г.