Спектральная фоточувствительность гетероструктур a-SiGe : H/c-Si

© А.А. Шерченков¶

Московский институт электронной техники,
124498 Москва, Россия

(Получена 23 декабря 2002 г. Принята к печати 27 декабря 2002 г.)

Представлены результаты исследования свойств гетеростурктур a-SiGe : H/c-Si, полученных высокоскоростным методом низкочастотного (55 кГц) плазмохимического осаждения. Показано, что пленки a-SiGe : H обладают высокой фоточувствительностью. Положением пика фоточувствительности гетероструктур a-SiGe : H/c-Si можно управлять в диапазоне от 830 до 920 нм за счет увеличения содержания Ge и уменьшения ширины запрещенной зоны сплава a-SiGe : H.

В настоящее время основной областью применения пленок аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si : H) являются дешевые фотоэлектрические устройства [1]. Введение германия в a-Si : H позволяет в широких пределах варьировать ширину щели подвижности, изменяя тем самым спектральный диапазон чувствительности приборов. Настоящее сообщение посвящено первым исследованиям свойств гетероструктур a-SiGe : H/c-Si, впервые полученных высокоскоростным методом низкочастотного (55 кГц) плазмохимического осаждения (НЧ ПХО).

Гетероструктуры формировались осаждением слоев a-SiGe : H на монокристаллические кремниевые подложки с удельным сопротивлением 10 Ом · см. Температура подложки, мощность разряда и давление в реакторе составляли 225°C, 150 Вт и 70 Па соответственно. Содержание германа в смеси с моносиланом ($R_{\mathrm{Ge}} = ([\mathrm{GeH_4}]/[\mathrm{SiH_4}] + [\mathrm{GeH_4}])100\%$) изменялось в диапазоне от 0 до 44.5%. Концентрация Ge в пленке определялась с помощью рентгеновского микрозондового анализа. Характеристики гетероструктур под освещением изучались в диапазоне длин волн от 500 до 1100 нм.

Результаты исследования оптических и электрофизических свойств сплавов a-SiGe : H, сформированных при различных R_{Ge}, представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, метод НЧ ПХО позволяет заметно повысить скорость роста пленок a-SiGe : H по сравнению со стандартным методом ПХО на частоте 13.56 МГц (3.3 Å/с [2]).

Зависимости произведения $\eta\mu\tau$, вычисленного по результатам измерения фотопроводимости, а также энергии Урбаха (E_0), оцененной по методу постоянного фототока, от ширины запрещенной зоны (E_g) для полученых пленок a-SiGe : H представлены на рис. 1. Видно, что с уменьшением E_g энергия Урбаха увеличивается, а величина $\eta\mu\tau$ уменьшается. Увеличение E_0 свидетельствует об увеличении плотности состояний в щели подвижности a-SiGe : H. Увеличение плотности состояний с увеличением содержания Ge в свою очередь приводит к увеличению количества рекомбинационных центров и уменьшению величины $\eta\mu\tau$. Согласно данным ИК спектроскопии, увеличение E_0 и уменьшение $\eta\mu\tau$ коррелирует с заменой Si–H-связей на Ge–H, что приводит к формированию дефектов, обусловленных Ge. Из табл. 1 видно, что при $E_g = 1.63$ и 1.54 эВ отношение $\sigma_{\mathrm{ph}}/\sigma_d$ имеет значение того же порядка, что и для a-Si : H [1]. Таким образом, пленки a-SiGe : H, полученные методом НЧ ПХО, обладают высокой фоточувствительностью и соответствуют пленкам приборного качества.

При исследовании спектральных характерстик гетероструктур a-SiGe : H/c-Si образцы освещались со стороны осажденного слоя аморфного сплава. На рис. 2 представлены спектральные зависимости относительной квантовой эффективности фотопреобразования η для гетероструктур a-SiGe : H/c-Si, которая определялась как [3]

$$\eta(h\nu) = \frac{I_{sc}(h\nu)}{h\nu},$$

где I_{sc} — ток короткого замыкания, $h\nu$ — энергия падающих фотонов.

Как видно из рис. 2, длинноволновый край зависимости $\eta(h\nu)$ определяется поглощением фотонов с энергией $E \leq 1.12$ эВ в узкозонном материале c-Si. Коротковолновый край поглощения определяется шириной щели сплава a-SiGe : H и смещается в длинноволновую область при увеличении содержания германия в сплаве

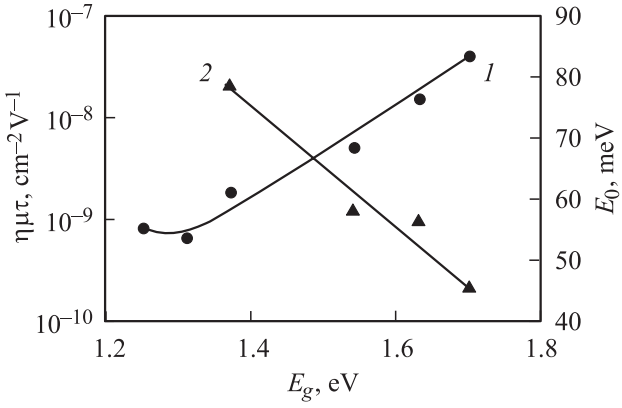

Рис. 1. Зависимости $\eta\mu\tau$ (*1*) и энергии Урбаха E_0 (*2*) от оптической ширины запрещенной зоны.

¶ E-mail: budaguan@ms.miee.ru

Таблица 1. Результаты исследования оптических и электрофизических свойств сплавов a-SiGe:H, полученных при различных R_{Ge}

Образцы	R_{Ge}, %	V_d, Å/c	E_g, эВ±0.01	E_F, эВ±0.01	σ_d, Ом$^{-1}\cdot$см$^{-1}$	σ_{ph}, Ом$^{-1}\cdot$см$^{-1}$	σ_d/σ_{ph}
YG6-11	0	11.1	1.70	0.75	$3.46\cdot10^{-10}$	$3.42\cdot10^{-5}$	$9.90\cdot10^{4}$
YG6-24	9.1	8.9	1.63	0.78	$5.10\cdot10^{-11}$	$1.40\cdot10^{-5}$	$2.75\cdot10^{5}$
YG6-310	16.7	12.5	1.54	0.77	$2.75\cdot10^{-10}$	$4.60\cdot10^{-6}$	$1.67\cdot10^{4}$
YG6-42	27.5	12.5	1.37	0.69	$1.26\cdot10^{-9}$	$1.90\cdot10^{-6}$	$1.51\cdot10^{3}$
YG6-52	37.5	9.4	1.31	0.65	$3.99\cdot10^{-9}$	$5.28\cdot10^{-7}$	$1.32\cdot10^{2}$
YG6-65	44.5	11.4	1.25	0.66	$1.41\cdot10^{-8}$	$7.00\cdot10^{-7}$	$4.97\cdot10^{1}$

Таблица 2. Положения пиков удельной фоточувствительности при различных смещениях для гетероструктур a-SiGe:H

Образец	R_{Ge}, %	Положение пика удельной фоточувствительности, нм							
		2.5 В	1.5 В	1.0 В	0.5 В	0 В	−0.5 В	−1.5 В	−2.5 В
YG6-1	0	830	830	830	830	830	830	830	830
YG6-2	9.1			810	830	830	830	830	830
YG6-3	16.7	830	830	830	830	830	830	840	830
YG6-4	27.5	860	860	880	870	870	870	870	870
YG6-5	37.5	940	920		930	890	930	940	930
YG6-6	44.5					920	920	920	920

и уменьшении E_g. В результате для образцов с большим содержанием Ge ($R_{Ge} \geq 27.5\%$) в пленке наблюдается пик η в узкой области длин волн с максимумом при энергиях фотонов 1.23−1.30 эВ. Для гетероструктур, сформированных при $R_{Ge} \leq 27.5\%$, наблюдается широкополосный характер квантовой эффективности фотопреобразования, что свидетельствует о высоком качестве границы раздела в гетероструктурах и низкой интенсивности процессов рекомбинации на ней. Высокое качество границы раздела может быть связано с присутствием водорода в пленках a-SiGe:H и пассивацией оборванных связей на границе раздела, а также с наличием ионной бомбардировки поверхности роста, что является характерной особенностью низкочастотного разряда.

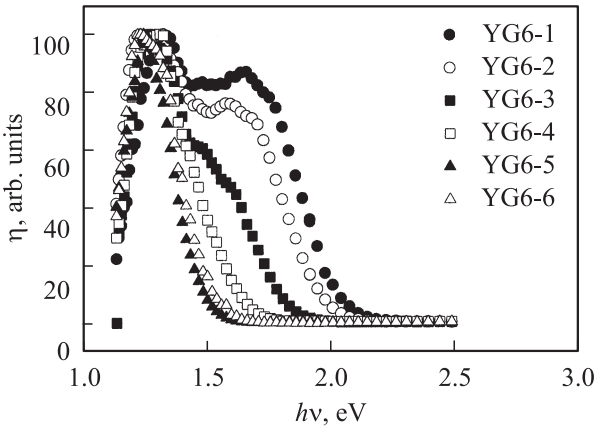

Рис. 2. Спектральная зависимость относительной квантовой эффективности фотопреобразования для гетероструктур a-SiGe:H, сформированных при различных R_{Ge}.

На рис. 3 представлена типичная спектральная зависимость удельной фоточувствительности S, которая рассчитывалась как отношение фотопроводимости к ин-

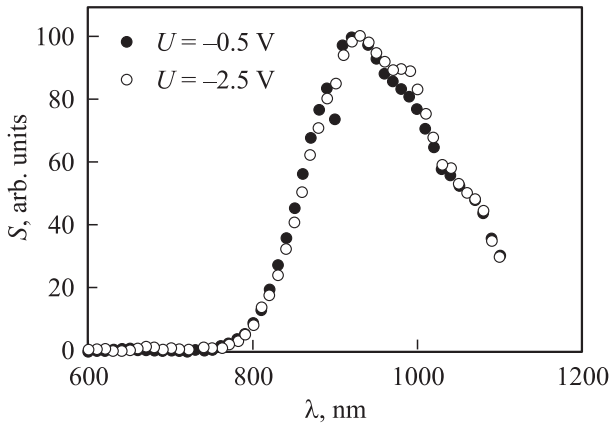

Рис. 3. Спектральная зависимость удельной фоточувствительности для гетероструктур a-SiGe:H/c-Si, сформированных при $R_{Ge} = 37.5\%$.

тенсивности падающего излучения, для гетероструктур a-SiGe:H/c-Si. В табл. 2 указаны также положения пиков удельной фоточувствительности при различных смещениях для исследованных гетероструктур. Видно, что положение максимумов S слабо зависит от величины прикладываемого напряжения. В то же время положение пика удельной фоточувствительности изменяется от 830 до 920 нм при изменении R_{Ge} от 0 до 44.5%. Наблюдаемый заметный сдвиг пика фоточувствительности

в длинноволновую область при $R_{\mathrm{Ge}} \geq 27.5\%$ можно объяснить уменьшением ширины запрещенной зоны сплава a-SiGe : H и увеличением поглощения падающего излучения в длинноволновой области.

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что пленки a-SiGe : H, полученные высокоскоростным методом НЧ ПХО, обладают высокой фоточувствительностью и при $E_g = 1.63$ и 1.54 эВ отношение $\sigma_{\mathrm{ph}}/\sigma_d$ имеет значение того же порядка, что и для a-Si : H $(1.67 \cdot 10^4 - 2.75 \cdot 10^5)$. За счет увеличения содержания Ge и уменьшения ширины запрещенной зоны сплава a-SiGe : H возможно управлять положением пика фоточувствительности гетероструктур a-SiGe : H/c-Si в диапазоне от 830 до 920 нм и, таким образом, изменять спектральный диапазон чувствительности фотоэлектрических устройств.

Список литературы

[1] R.E.I. Schropp, M. Zeman. *Amorphous and microcryctalline silicon solar cells: modeling, materials and device technology* (Kluwer Academic publishers, Boston–Dordrecht–London, 1998) p. 207.
[2] B.G. Budaguan, A.A. Sherchenkov, A.A. Berdnikov, A.A. Aivazov. Int. 196th Meeting Electrochem. Soc. and 1999 Fall Metting Electrochem. Soc. Japan (Hawaii, 1999) p. 1449.
[3] Ю.А. Николаев, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Теруков. ФТП, **34**, 685 (2000).

Редактор Л.В. Беляков

Spectral photosensitivity of heterostructures a-SiGe : H/c-Si

A.A. Sherchenkov

Moscow Institute of Electronic Technology,
124498 Moscow, Russia

Abstract Results of the investigation of the properties of a-SiGe : H/c-Si heterostructures fabricated by the high rate low frequency (55 kHz) plasma-enhanced chemical vaporur deposition are presented. It is show that a-SiGe : H films possess high photosensitivity. Position of the peak of the photosensitivity of a-SiGe : H/c-Si heterostructures can be controlled in the range from 830 to 920 nm due to the increase of the Ge content and decrease of the width of the band gap of a-SiGe : H alloy.