

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ a-Si:H, ИОННО-ЛЕГИРОВАННОГО ФОСФОРОМ И БОРОМ

А.Н. Каррыев, И.П. Акимченко, А.А. Гиппиус, А.В. Спицын

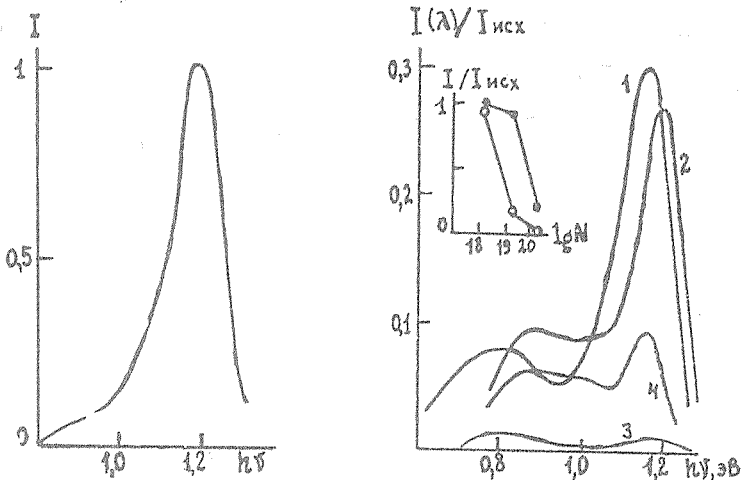
УДК 621.315.592

Представлены результаты исследования фотолюминесценции аморфного гидрогенизированного кремния (a-Si:H) ионно-легированного фосфором и бором. Легирование бором менее эффективно и сопровождается образованием большего числа дефектов, чем фосфором.

Легирование a-Si:H для управления его электрическими свойствами сопровождается, как правило, нежелательными побочными явлениями, связанными с увеличением концентрации дефектов. В частности, при легировании a-Si:H в процессе осаждения в тлеющем разряде путем добавления в газовую смесь небольших количеств PH_3 или B_2H_6 оказалось [1], что легирование фосфором или бором приводит к образованию дефектов типа оборванная связь с концентрацией, составляющей $\sim 1\%$ от концентрации легирующей примеси. В компенсированных образцах (легированных Р и В) концентрация оборванных связей уменьшается и в материале, по-видимому, возникают комплексы, включающие атомы бора и фосфора.

Настоящая работа посвящена изучению влияния на свойства a-Si:H легирующих примесей Р и В, введенных методом ионной имплантации. Пленки a-Si:H, полученные осаждением на кварцевые подложки в высокочастотном тлеющем разряде, имели толщину 0,42 мкм. Ионы Р и В с энергиями соответственно от 40 до 325 кэВ и от 30 до 180 кэВ имплантировались в пленки a-Si:H, что давало возможность осуществить легирование всего объема образцов. Концентрация примесей составляла $2 \cdot 10^{18}$, $2 \cdot 10^{19}$ и $2 \cdot 10^{20}$ см⁻³. После имплантации образцы a-Si:H подвергались термическому отжигу в вакууме. Измерения спектров фотолюминесценции (ФЛ) были проведены при температуре 77 К. Кроме того, при температуре 300 К измерялось темновое удельное сопротивление ρ_T и удельное сопротивление при освещении "белым" светом ρ_C .

Спектр ФЛ исходного a-Si:H состоял из полосы краевой люминесценции с максимумом при энергии 1,19 эВ (рис. 1). Ее длинноволновое крыло обусловлено излучательными переходами электронов с уровней, образованных



Р и с. 1. Спектр ФЛ исходного a-Si:H в произвольных единицах.

Р и с. 2. Спектры ФЛ образцов a-Si:H, облученных Р и В и подвергнутых отжигу при температуре 350 °С, приведенные к интенсивности ФЛ исходного a-Si:H в максимуме ($h\nu = 1,19$): 1 - Р, $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 2 - В, $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$; 3 - В, $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$; 4 - Р, $2 \cdot 10^{20}$ и В, $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Вставка - степень восстановления красной люминесценции в максимуме интенсивности после отжига в зависимости от концентрации имплантированной примеси: ● - Р, ○ - В.

оборванными связями [2]. Имплантация ионов Р или В создает большое количество дефектов и тушит ФЛ. Термический отжиг при температуре 350 °С приводит к восстановлению интенсивности ФЛ, степень которого зависит от типа примеси и дозы облучения. Результаты измерения ФЛ, ρ_T , ρ_C после отжига представлены на рис. 2 и в табл. 1. Спектры ФЛ образцов a-Si:H, облученных B^+ ($2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и P^+ ($2 \cdot 10^{18}$, $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$) и подвергнутых отжигу, практически совпадают со спектром ФЛ исходного образца и на рис. 2 не показаны.

Как следует из приведенных данных, ионное легирование фосфором более эффективно, чем бором (табл. 1). Имплантация фосфора и бора по-разному влияет на плотность состояний a-Si:H, что проявляется в зависимости формы полос ФЛ от легирующей примеси. Существенно, что легирование бором сопровождается образованием большего количества оборванных связей.

Влияние легирования фосфором и бором на характеристики пленок a-Si:H

Тип и концентрация имплантированной примеси, см ⁻³		Измеряемые характеристики		
		ρ_T , Ом·см	ρ_c , Ом·см	$I/I_{исх}$
Р	В			
2·10 ¹⁹		1,5·10 ⁵	6,9·10 ³	1
	2·10 ¹⁹	2·10 ⁶	1,2·10 ⁵	0,25
2·10 ²⁰		3,3·10 ³	2,4·10 ³	0,3
	2·10 ²⁰	5,6·10 ⁴	5,6·10 ⁴	0,014
2·10 ¹⁸	2·10 ¹⁸	1,9·10 ⁸	8·10 ⁵	1
2·10 ²⁰	2·10 ²⁰	2·10 ⁵	2·10 ⁵	0,1
Исходный a-Si:H		1,55·10 ⁸	2,1·10 ⁶	—

$I/I_{исх}$ — отношение интенсивности краевой люминесценции (в максимуме) ионно-легированного a-Si:H к интенсивности исходного образца.

Об этом свидетельствуют данные по восстановлению интенсивности ФЛ после отжига (рис. 2б, вставка), а также отсутствие фоточувствительности у образцов a-Si:H:B с большим ($2 \cdot 10^{20}$ см⁻³) содержанием бора (табл. 1). Имплантация обеих примесей (Р и В) и последующий отжиг привели к увеличению ρ_T и заметному росту интенсивности ФЛ по сравнению с a-Si:H, легированным одним бором. Таким образом, имеет место компенсация как электрической активности примесей, так и их способности вносить дефекты в легируемый материал.

Данные по ионному легированию фосфором и бором a-Si:H в общем совпадают с результатами легирования в процессе получения пленок в тлеющем разряде (большая эффективность легирования фосфором, большее число дефектов, возникающих при легировании бором, компенсация при двойном легировании). Прямое сопоставление эффективностей легирования при

имплантации и синтезе затруднено тем, что в настоящее время мы не располагаем достаточными данными о концентрации примеси в легированных пленках, полученных на той же установке для синтеза, что и нелегированные, использованные в качестве исходных в данной работе. Примечательно, что число оборванных связей в ионно-легированных пленках, по-видимому, существенно меньше, чем при легировании в процессе получения в тлеющем разряде. В последнем случае, по оценке /1/, концентрация оборванных связей составляет $\sim 1\%$ от концентрации примеси. Если это соотношение справедливо и для ионной имплантации, то при уровне легирования $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ концентрация оборванных связей составит $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$, что, согласно имеющимся данным о зависимости интенсивности краевой полосы ФЛ от плотности оборванных связей /2/, привело бы к уменьшению интенсивности приблизительно в 10^3 раз. В нашем случае интенсивность краевой люминесценции (после отжига для $N = 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) уменьшалась лишь в 3 раза для Р и в 70 раз для В.

Авторы благодарны Д.П. Уткину-Эдину за предоставление образцов a-Si:H.

Поступила в редакцию 31 июля 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Street R.A., Biegelsen D.K. Knights J.C. Phys. Rev., **B24**, 969 (1981).
2. Street R.A. Adv. in Phys., **30**, 593 (1981)