

## ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И ОПТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ a-Si:H, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ НИКЕЛЯ

И.П. Акимченко, А.Н. Каррыев, В.С. Вавилов, А.А. Гиппиус

УДК 621.315.592

*Исследованы фотолюминесценция и оптическое поглощение пленок a-Si:H, облученных ионами никеля и подвергнутых термическому отжигу. Сделан вывод о способности атомов никеля компенсировать дефекты, ответственные за локализованные состояния в запрещенной зоне a-Si:H.*

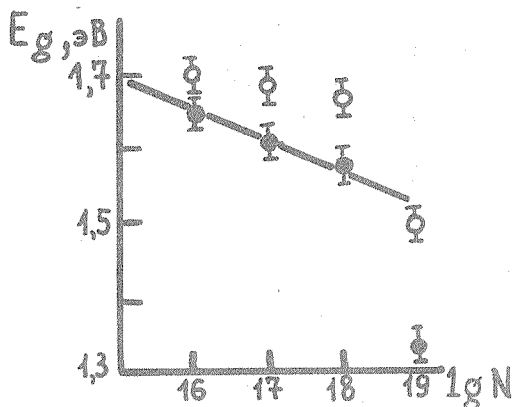
Ранее методом ЭПР было показано /1/, что примеси некоторых переходных металлов (Cr, Mn, Fe) способны пассивировать дефекты — оборванные связи, создающие локализованные состояния в запрещенной зоне аморфного кремния. В /2/ наблюдалось увеличение интенсивности фотолюминесценции (ФЛ) пленок аморфного гидрогенизированного кремния, a-Si:H, облученных ионами железа и подвергнутых термическому отжигу, что свидетельствует о насыщении оборванных связей атомами железа. По-видимому, указанные результаты связаны со специфическими свойствами атомов переходных металлов. Поэтому в настоящей работе проведено исследование влияния атомов никеля на плотность локализованных состояний (ПЛС) в запрещенной зоне a-Si:H. Были проведены измерения спектров фотолюминесценции и края оптического поглощения, поскольку изменения в распределении ПЛС a-Si:H заметно отражаются на них. Например, увеличение ПЛС у краев зон — "уширение зонных хвостов" — приводит к смещению края собственного поглощения в длинноволновую сторону, смещению полосы краевой люминесценции (КЛ). Присутствие в большом количестве оборванных связей тушит фотолюминесценцию /3/, сказывается на поглощении в примесной области /4/.

Образцы a-Si:H были получены осаждением в высокочастотном тлеющем разряде в газовой смеси 4% SiH<sub>4</sub> + 96% Ar (по объему) на кварцевых подложках при T = 275 °C. Введение атомов никеля производилось путем имплантации ионов Ni<sup>+</sup> (распределенная доза, N = 10<sup>16</sup>, 10<sup>17</sup>, 10<sup>18</sup>, 10<sup>19</sup> см<sup>-3</sup> в слое толщиной ~ 0,3 мкм) на ускорителе тяжелых ионов в лаборатории физики полупроводников ФИАН.

Исследование спектров поглощения образцов a-Si:H, имплантированных

ионами никеля, выявило интересные особенности.

1. Уменьшение ширины запрещенной зоны  $E_g$  в области концентраций Ni  $10^{16} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$  от исходного значения 1,7 эВ происходит почти по логарифмическому закону. Термический отжиг при температурах 350-400 °С восстанавливает  $E_g$ . Большая доза ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) приводит к более резкому смещению края поглощения в длинноволновую сторону, причем отжиг при 400 °С не восстанавливает величину  $E_g$  до исходного значения 1,7 эВ (рис. 1).

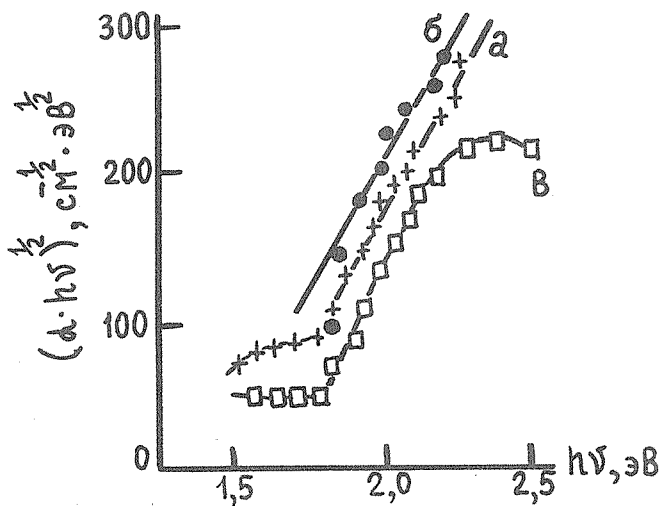


Р и с. 1. Зависимость  $E_g$  a-Si:H, облученного  $\text{Ni}^+$ , от концентрации N:  $\circ$  — после имплантации;  $\bullet$  — после имплантации и термического отжига

2. Ширина запрещенной зоны образцов a-Si:H, имплантированных  $\text{Ni}^+$  ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) и подвергнутых отжигу при 600 °С, несколько больше, чем у исходных пленок после аналогичного отжига (соответственно 1,55 и 1,5 эВ).

3. Имплантация Ni в a-Si (нелегированный, полученный методом катодного распыления в атмосфере аргона) и последующий отжиг при 600 °С дают существенно иной результат. После имплантации никеля в количестве  $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$  край поглощения смещается в длинноволновую сторону. Однако термический отжиг (600 °С, 30 мин) приводит к значительному увеличению  $E_g$  от 1,5 до 1,7 эВ и одновременному уменьшению поглощения в "хвосте" спектра поглощения (рис. 2).

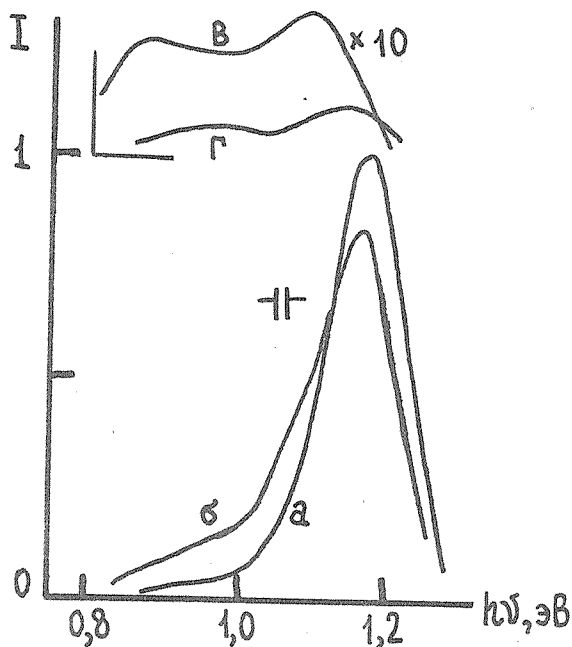
Обратимся к данным по фотолюминесценции. Спектр ФЛ исходной пленки a-Si:H (рис. 3, кривая а) состоит из симметричной полосы с макси-



Р и с. 2. Спектр поглощения  $\alpha\text{-Si}$ , 300 К: а – исходный; б – после имплантации  $\text{Ni}$  ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ); в – после отжига ( $600^\circ\text{C}$ , 30 мин)

мумом при энергии  $\sim 1,16$  эВ (краевой люминесценции) и слабого излучения в области  $\sim 0,9$  эВ, обусловленного присутствием дефектов типа оборванная связь [3]. Имплантация ионов  $\text{Ni}$  приводит к почти полному тушению краевой люминесценции. Термический отжиг в вакууме при  $350^\circ\text{C}$  практически полностью восстанавливает КЛ и увеличивает интенсивность полосы  $0,9$  эВ (рис. 3, кривая б). Влияние атомов никеля отчетливо видно при сравнении фотолюминесценции исходной и имплантированной никелем пленок  $\alpha\text{-Si:H}$ , подвергнутых отжигу при высокой температуре. Отжиг исходной пленки при температуре  $500^\circ\text{C}$  приводит к разрушению кремниево-водородных связей, выделению водорода и образованию большого количества оборванных связей. При этом интенсивность КЛ резко уменьшается и становится соизмеримой с "дефектной" люминесценцией при  $\sim 0,9$  эВ, а максимум КЛ смещается в длинноволновую сторону на  $60$  мЭВ (рис. 3, кривая в). Спад интенсивности КЛ и ее смещение после аналогичного отжига ( $500^\circ\text{C}$ , 30 мин) для  $\alpha\text{-Si:H}$ , облученного  $\text{Ni}^+$  ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ), заметно меньше (рис. 3, кривая г).

Анализируя вышеописанные данные по оптическому поглощению и фотолюминесценции, можно нарисовать следующую картину. Имплантация ионов  $\text{Ni}$  приводит к образованию дефектов, влияние которых проявляется в увеличении поглощения в "хвосте" поглощения, смещении края поглощения



Р и с. 3. Спектр фотолюминесценции a-Si:H, 77 К: а – исходный; б – после имплантации Ni ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) и отжига; в – исходный образец после отжига ( $500^\circ\text{C}$ , 30 мин); г – после имплантации Ni ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) и отжига ( $500^\circ\text{C}$ , 30 мин)

в длинноволновую сторону и резком тушении фотолюминесценции. Восстановление края оптического поглощения и фотолюминесценции в результате отжига при  $350^\circ - 400^\circ\text{C}$  является следствием диффузии слабосвязанного водорода, повторного насыщения им оборванных связей кремния, а также отжига дефектов. При этом малые концентрации никеля по сравнению с количеством вводимых дефектов практически себя не проявляют. Заметное влияние никеля, внедренного в количестве  $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , наблюдается после высокотемпературного отжига ( $500^\circ\text{C}$ , 30 мин), когда происходит разрыв связей Si-H и выход водорода из пленки. Подобный отжиг обычно сопровождается уменьшением  $E_g$ , резким спадом фотолюминесценции, смещением максимума КЛ в длинноволновую сторону. В пленках, имплантированных никелем, все перечисленные изменения значительно меньше, что может свидетельствовать либо о сдерживающем влиянии никеля на уход водорода

из пленки, либо на пассивацию никелем оборванных связей кремния. Вместе с тем тот факт, что имплантация никеля ( $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ) в пленки негидрогенизированного аморфного кремния и отжиг при  $600^\circ\text{C}$  дают увеличение  $E_g$  до 1,7 эВ, но не приводят к появлению заметной фотолюминесценции пленок a-Si:Ni, свидетельствует об уникальной роли водорода в заполнении оборванных связей кремния и уменьшении ПЛС.

Авторы благодарны Д.П. Уткину-Эдину за предоставление образцов a-Si:H и В.А. Дравину за проведение ионной имплантации.

Поступила в редакцию 27 февраля 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Х. Антоненко, А.В. Двуреченский, В.А. Дравин, Препринт 1-83 ИФП СО АН СССР, Новосибирск, 1983 г.
2. А.Н. Карриев, И.П. Акимченко, А.А. Гишпиус, Тезисы докладов 7-й Межд. конф. "Ионная имплантация в полупроводниках и др. материалах", Вильнюс, 1983 г., с. 111.
3. R.A. Strett, *Adv. in Phys.* **30**, 593 (1981).
4. W.B. Jackson, N.M. Amer, *J. de Physique*, **42**, с 4, 293 (1981).