

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА α -Si:H

А. Н. Карпов, И. П. Акимченко, А. А. Гиппиус,
Д. П. Уткин-Эдин, В. А. Дравин

УДК 621.315.592

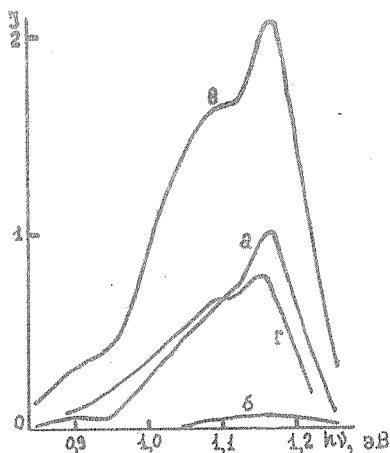
Исследованы фотолюминесценция и оптическое поглощение пленок α -Si:H и α -Si, облученных ионами $^{56}\text{Fe}^+$ и $^{40}\text{Ar}^+$. Полученные результаты позволяют сделать предположение о заполнении оборванных связей атомами железа.

Спектр фотолюминесценции α -Si:H, полученного разложением силана SiH_4 в тлеющем разряде при оптимальных условиях, содержит интенсивную полосу с максимумом при энергии в области 1,2 - 1,4 эВ с асимметричным длинноволновым крылом /1,2/. Эта полоса связана с излучательными переходами между локализованными состояниями у краев зоны проводимости и валентной зоны (краевая люминесценция). Структурные дефекты создают локализованные состояния в запрещенной зоне. Излучательные переходы между ними и хвостами зон обуславливают длинноволновое излучение при $\sim 1,1$ эВ и $\sim 0,8 - 0,9$ эВ, а безизлучательные - тушение основной полосы. Сильное влияние на интенсивность краевой люминесценции оказывают дефекты типа "оборванная связь", которые являются центрами безизлучательной рекомбинации /1,2/.

Бомбардировка α -Si:H электронами или ионами приводит к

тушению краевой люминесценции, обусловленному возникновением центров безызлучательной рекомбинации, связанных с радиационными дефектами. Восстановление ее интенсивности после отжига, как правило, бывает неполным вследствие остаточных радиационных повреждений. В данной работе обнаружено возрастание интенсивности краевой люминесценции α -Si:H (по сравнению с исходной) после имплантации $^{56}\text{Fe}^+$ и последующего термического отжига, связанное, по-видимому, со специфическими свойствами примесей переходных элементов.

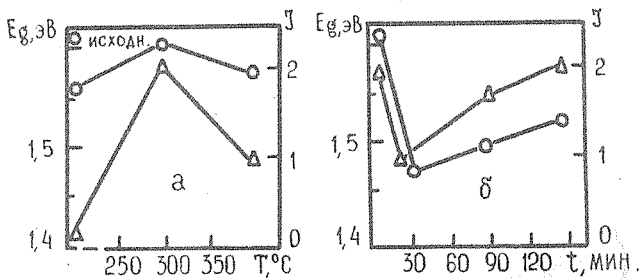
Образцы α -Si:H, полученные в высокочастотном плазменном разряде, облучались ионами $^{56}\text{Fe}^+$ (распределенная доза $N = 10^{18}, 10^{19}, 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в слое 0,23 мкм) и ионами $^{40}\text{Ar}^+$ ($N = 10^{16}, 10^{17}, 10^{18}, 10^{19} \text{ см}^{-3}$). Измерение спектров фотолюминесценции при 77 К проводилось в области 0,7–2,6 мкм с помощью решеточного монохроматора с охлаждаемым фотосопротивлением FbS в качестве фотоприемника. Край оптического поглощения исследовался при комнатной температуре.



Р и с. 1. Спектры фотолюминесценции α -Si:H при 77 К. а) Исходный образец. б) После имплантации Fe^+ , $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$. в) После имплантации Fe^+ и термического отжига при 300 °С, 30 мин. г) После имплантации Ar^+ , $N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и термического отжига при 300 °С, 30 мин

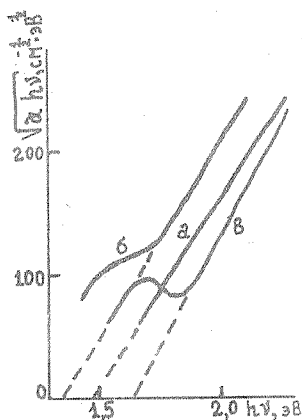
Имплантация ионов значительно уменьшала интенсивность краевой фотолуминесценции (рис. 1). Термический отжиг в вакууме при 300 °С, в зависимости от дозы облучения, частично или полностью восстанавливал интенсивность луминесценции, а в случае имплантации ионов железа $^{56}\text{Fe}^+$ ($N = 10^{18} \text{ см}^{-3}$) приводил к двукратному ее усилению (рис. 1, в). Термический отжиг контрольного образца, не подвергавшегося ионной имплантации, не приводил к заметным изменениям спектра и интенсивности краевой луминесценции. Следует также отметить отличие наблюдаемого при имплантации Fe^+ эффекта от бомбардировки электронами, ионами $\text{He}^+ /3,4/$ или Ar^+ (рис. 1, г), когда наблюдается частичное восстановление интенсивности краевой луминесценции. Это указывает на специфическую роль имплантированной примеси железа в уменьшении числа центров безызлучательной рекомбинации, состоящую либо в заполнении оборванных связей, в соответствии с высказанным в /5,6/ предположением, либо в образовании комплексов с так называемыми "безспиновыми" дефектами (вакансионного типа) /4/ и изменении их рекомбинационных свойств.

Влияние имплантированных атомов железа на энергетический спектр $\alpha\text{-Si:H}$ проявляется как в изменении формы спектра фотолуминесценции (рис. 1), так и в смещении края оптического поглощения, положение которого коррелирует в процессе отжига с интенсивностью краевой луминесценции (рис. 2). После внедрения ионов железа край поглощения E_g смещается в сторону меньших



Р и с. 2. Изменение интенсивности краевой луминесценции J ($h\nu = 1,18 \text{ эВ}$) и положения края поглощения E_g при изохронном (а) и изотермическом (б) отжигах: Δ - J , \circ - E_g

энергий одновременно с резким уменьшением интенсивности люминесценции I (рис. 2, а). Отжиг при 300°C , приводящий к двукратному увеличению I , восстанавливает E_g до исходного значения. Термический отжиг при 390°C в течение 30 мин снижает I и приводит к уменьшению E_g . Увеличение продолжительности отжига при 390°C (рис. 2, б) вызывает увеличение E_g и интенсивности люминесценции.



Р и с. 3. Спектры края поглощения $a\text{-Si}$ при 300 K . а) Исходный образец. б) После имплантации Fe^+ , $N = 10^{20}\text{ см}^{-3}$. в) После имплантации и термического отжига при 390°C , 30 мин

Аналогичное влияние имплантированных атомов железа на спектр поглощения наблюдалось также в негидрогенизированном $a\text{-Si}$, полученном катодным распылением в атмосфере аргона. Из спектров (рис. 3), построенных в координатах $\sqrt{\alpha}h\nu = f(h\nu)$, следует, что после имплантации ионов Fe^+ ($N = 10^{20}\text{ см}^{-3}$) и термического отжига при 390°C (30 мин) край поглощения пленки $a\text{-Si}$ смещается в коротковолновую сторону на $0,16\text{ эВ}$, что свидетельствует об уменьшении плотности локализованных состояний в запрещенной зоне и может быть истолковано как уменьшение числа оборванных связей.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить заполнение оборванных связей атомами железа и связанное с этим

уменьшение плотности локализованных состояний a -Si.

Авторы благодарны А. Ф. Хожлову за предоставление образцов негидрогенизированного аморфного кремния.

Поступила в редакцию
II июля 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. R. A. Street, *Advances in physics*, 30, 593 (1981).
2. R. A. Street, *Journal de physique*, с4, 42, 283 (1981).
3. R. A. Street, D. Biegelsen, J. Stuke, *Phil. Mag.*, В, 40, 451 (1979).
4. U. Voget-Grote, W. Kuzmarik et al., *Phil. Mag.*, В, 41, 127 (1980).
5. А. Х. Антоненко, А. В. Двуреченский и др., ФТП, 13, 281 (1979).
6. А. Х. Антоненко, А. В. Двуреченский, В. А. Дравин, Препринт I-83 ИИП СО АН СССР, Новосибирск, 1983 г.