

ПОДАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА СТЕБЛЕРА — ВРОНСКОГО В АМОРФНОМ ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОМ КРЕМНИИ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ГАЛЛИЯ И МЫШЬЯКА

*И.П.Акимченко, В.С.Василов, Н.Н. Дымова,
В.В.Краснопевцев, А.А.Родина, Д.П.Уткин-Эдин*

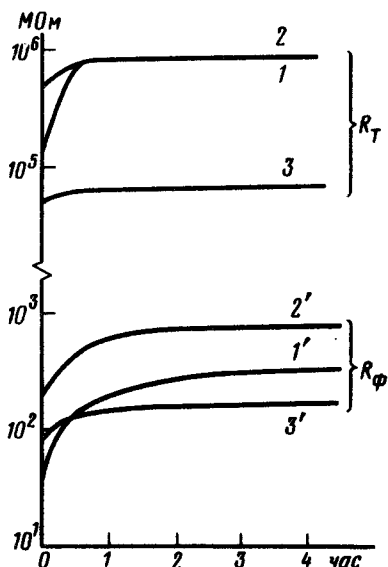
Фотоиндуцированное изменение темнового сопротивления и фотосопротивления (эффект Стеблера — Вронского) исследовано в гидрогенизированном аморфном кремнии, легированном путем ионной имплантации галлия и мышьяка. Установлено, что ионное внедрение As и Ga приводит к существенному ослаблению влияния освещения на фотоэлектрические характеристики $\alpha - \text{Si} : \text{H}$.

Известно, что при длительном воздействии света на гидрогенизированный аморфный кремний $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ в области собственного поглощения его фоточувствительность падает (эффект Стеблера — Вронского [1]). В данном сообщении представлены результаты исследования фотоэлектрических свойств пленок $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ до и после ионной имплантации Ga и As в зависимости от продолжительности освещения.

Пленки $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ толщиной 1,0 — 1,5 мкм выращивались методом разложения силана ($\text{Ar} + 4\% \text{SiH}_4$) в плазме ВЧ разряда на стеклянной подложке при температуре 200°С. Ширина запрещенной зоны исходных пленок, найденная по оптическому поглощению, составляла 1,75 эВ, что соответствует концентрации водорода в $\alpha - \text{Si} : \text{H}$, равной 12% [2]. Темновое удельное сопротивление пленок достигало 10^6 Ом · см. Внедрение ионов ^{69}Ga и ^{75}As с энергией 90 кэВ производилось при температуре мишени, близкой к комнатной; доза ионов составляла $8 \cdot 10^{14}$, $3 \cdot 10^{15}$, $8 \cdot 10^{15}$ см $^{-2}$ при плотности тока ионного пучка 1,5 мкА · см $^{-2}$. Расчетное значение средней концентрации внедренных атомов Ga и As лежало в пределах $8 \cdot 10^{19} - 8 \cdot 10^{20}$ см $^{-3}$ при толщине легированного слоя около 0,1 мкм [3]. Термический отжиг пленок, необходимый для упорядочения структуры $\alpha - \text{Si} : \text{H} : \text{Ga}$ и $\alpha - \text{Si} : \text{H} : \text{As}$ после ионной имплантации, проводился в вакуумированной кварцевой ампуле при 300°С в течение 30 мин. (Осаждение $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ при температуре подложки 250 — 300°С приводит к минимальной плотности локализованных состояний в запрещенной зоне [4]). Для засветки пленок использовалась лампа накаливания мощностью 500 Вт (расстояние до образца 20 см).

На рисунке представлены зависимости темнового сопротивления R_T и фотосопротивления $R_{\text{ф}}$ исходной пленки $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ (кривые 1 и 1'), соответственно), а также пленок, легированных Ga (2 и 2') и As (3 и 3') от времени освещения после отжига при 300°С. В исходных пленках $\alpha - \text{Si} : \text{H}$ в первые 30 мин наблюдается резкое увеличение R_T и $R_{\text{ф}}$ и далее медленный рост со временем освещения до насыщения. При

этом величина R_T и R_Φ в легированных пленках возрастает в 8 – 10 раз. Что касается легированных пленок, то влияние освещения на R_T и R_Φ проявляется гораздо слабее по сравнению с исходным $a - Si : H$, причем величина эффекта зависит от химической природы примеси. Так, в $a - Si : H : Ga$ R_T и R_Φ увеличиваются в 2 и 4,5 раза, соответственно, тогда как в $a - Si : H : As$ – в 1,5 и 2,5 раза. В действительности, влияние освещения в легированных пленках сказывается меньше, так как толщина слоя, в котором поглощается практически весь свет, превышает толщину слоя, содержащего имплантированные атомы Ga и As (около 0,5 по сравнению с 0,1 мкм).



Зависимость сопротивления и фотосопротивления от длительности освещения белым светом пленок $a - Si : H$ (1, 1'), $a - Si : H : Ga$ (2, 2') и $a - Si : H : As$ (3, 3'). (Дозы ионов Ga и As составляют $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$)

Таким образом, внедрение Ga и, в особенности, As приводит к существенному ослаблению эффекта Стеблера – Вронского; почти полное подавление эффекта происходит при средней концентрации As в слое около 10^{21} см^{-3} . Фотоиндуцированное изменение R_T и R_Φ , наблюдаемое в исходных пленках, можно объяснить "разупорядочением" структуры, механизм которого остается неясным. Если нарушениям структуры, образованным при освещении, отвечает глубокий энергетический уровень акцепторной природы, то уровень Ферми в засвеченных пленках будет смещаться к середине запрещенной зоны. С другой стороны, падение фоточувствительности в собственной области и практически полное отсутствие сигнала фотопроводимости в примесной области после продолжительного освещения пленок свидетельствуют об уменьшении времени жизни неосновных носителей заряда, которое можно приписать увеличению концентрации центров рекомбинации ("дефектов" структуры), возникающих под действием света, или изменению сечения захвата электронов многозарядными центрами, присутствующими в исходном $a - Si : H$, вследствие смещения уровня Ферми.

Тот факт, что при освещении $a - Si : H$, $a - Si : H : Ga$ и $a - Si : H : As$ ширина запрещенной зоны и интенсивность ИК поглощения в максимумах, отвечающих колебаниям связей $Si - H$ или $Si - H_2$, не изменяются, указывает на отсутствие каких-либо существенных нарушений структуры пленок (разрыв химических связей, образование сложных комплексов с участием H и т.п.). Об этом же говорит и низкая температура (низкая энергия активации) отжига $\approx 150^\circ C$, при которой исчезает фотоиндуцированное изменение R_T и R_Φ . Можно думать, что под действием освещения $a - Si : H$ происходит перестройка структурной конфигурации, включающей в себя связь $Si - H$, вследствие перескока атома H в другое, менее равновесное, положение с переориентацией связи $Si - H$. Новым конфигурациям ("дефектам" структуры) соответствует глубокий акцепторный уровень в запрещенной зоне (и, возможно, иная мода локальных колебаний), появление которого и вызывает наблюдаемые изменения R_T , R_Φ и фоточувствительности. Внедрение атомов Ga и As приводит к возникновению упругой деформации в ближайшем окружении $Si - H$ без существенного изменения электронных и колебательных свойств конфигурации в целом, что делает связи $Si - H$ более устойчивыми как к воздействию света (ослабление эффекта Стеблера - Вронского), так и к термообработке (увеличение температуры экзодиффузии H [5]). Стабилизация связей $Si - H$ при ионном внедрении Ga или As обуславливает, в конечном счете, эффективное повышение концентрации равновесных конфигураций с участием $Si - H$, и, следовательно, наблюдаемое увеличение оптической ширины запрещенной зоны [5]. Высокая концентрация внедренных атомов Ga и As (около 2% по сравнению с 12% для H) и большой ковалентный радиус (0,127 и 0,121 нм по сравнению с 0,05 и 0,117 нм для H и Si, соответственно) являются дополнительным аргументом в пользу предположения о возникновении упругой деформации в $a - Si : H : As$ и $a - Si : H : Ga$.

Таким образом, ионная имплантация Ga и As позволяет, по-видимому, существенно подавить эффект Стеблера - Вронского и вследствие этого увеличить продолжительность работы солнечного элемента на основе гидрогенизированного аморфного кремния.

Авторы признательны Е.Г.Паншиной за полезное обсуждение экспериментальных результатов, В.А.Дравину и А.Э.Седельникову за ионное внедрение на ускорителе тяжелых ионов фирмы HVE Inc.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
23 марта 1981 г.

Государственный Институт редких металлов

Литература

- [1] D.L.Staebler, C.R.Wronski. Appl. Phys. Lett., 31, 292, 1977.
[2] J.Perrin, J.Solomon, B.Bourdon, J.Fontenille, E.Ligeon. Thin Solid Films, 62, , 327, 1979.

- [3] А.Ф.Буренков, Ф.Ф.Комаров, М.А.Кумахов, М.М.Темкин. Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей. Минск, Изд. БГУ им. В.И.Ленина, 1980.
- [4] J.C.Knights, G.Lucovsky, R.L.Nemanich. J. of Non-Crystalline Solid, 32, 393, 1979.
- [5] И.П.Акимченко, В.С.Вавилов, Н.Н.Дымова, В.В.Краснопевцев, А.Н.Родина, Д.П.Уткин-Эдин. ФТТ (в печати).
-