

в этой области параметрами датчика как четырехполосника. На рис.3 представлены экспериментальные значения η , α , β в зависимости от нагрузки R_L при $B_0=2$ мТл, где $\alpha = J_2/J_1$ — коэффициент передачи по току, $\beta = U_2/U_1$ — коэффициент передачи по напряжению. По абсолютной величине коэффициент β увеличивается с ростом электросопротивления нагрузки R_L , а коэффициент α уменьшается. Так как $\eta = \alpha\beta$, то кривая $\eta(R_L)$ характеризуется максимумом. Причем максимальное значение к.п.д. датчика достигается при нагрузке $R_L \approx R_{22}$, что, вообще говоря, является следствием условий $R_{11} \approx R_{22} \gg R_{12} \approx R_{21}$ при $B_0=2$ мТл. Известно, что для обычного датчика Холла оптимальное сопротивление нагрузки, при котором достигается максимальное значение к.п.д., лежит в интервале от R_{22} до $\sqrt{2} R_{22}$ [4]. Максимальное значение к.п.д. для датчика, функционирующего на планарном эффекте Холла, превышает эту же величину при $B_0=2$ мТл для датчика из InSb более чем в 50 раз. Известно, что η зависит от величины внешнего магнитного поля и самый высокий к.п.д. при $B_0 \rightarrow \infty$ равен 17,2% [4] для обычного датчика Холла. Если для полупроводникового преобразователя Холла к.п.д. при малых полях ($B_0 \rightarrow 0$) пропорционален B_0^2 [4], то в магнитошпечном датчике, функционирующем на планарном эффекте Холла, η является неоднозначной функцией B_0 и зависит от предыстории намагничивания.

1. Болдашев А.М., Лисовский Ф.В., Роев В.К. и др. Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах: Справ., М., 1987.

2. Васильев И.И., Прокошин В.И., Ярмолович В.А. Измерительная техника. 1992. Вып.3. С.43.

3. Анищик В.М., Прокошин В.И., Ярмолович В.А. и др. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.1. 1994. №1. С.27.

4. Вайсс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов. М., 1974.

5. Прокошин В.И., Ярмолович В.А., Васильев И.И. и др. Деп. в ВИНТИ 16.09.91. №3700-В91. С.13

6. Прокошин В.И., Шепелевич В.Г., Ярмолович В.А. Устройства автоматики и робототехники на эффекте Холла. Мн., 1991.

7. Яковлев Н.И. Бесконтактные электроизмерительные приборы для диагностики электронной аппаратуры. Л., 1990.

Поступила в редакцию 16.04.98.

УДК 621.382

В.Б.ОДЖАЕВ, Е.И.КОЗЛОВА, О.Н.ЯНКОВСКИЙ, И.П.КОЗЛОВ, И.А.КАРПОВИЧ

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭТИЛЕНА ИМПЛАНТАЦИЕЙ И ДИФФУЗИЕЙ

The sheet resistivity of polyethylene implanted with F^+ , As^+ , Sb^+ ions to different doses and then exposed to iodine vapours was studied. The iodine doping leads to an immediate decrease of the sheet resistivity of the radiation damaged polyethylene by about three orders of magnitude. A spontaneous increase of the sheet resistivity as a function of time elapsed from the diffusion was observed along with iodine inward migration. The data obtained seem to support a concept of enhanced mobility of iodine atoms in the radiation damaged surface layer and their trapping on the defects produced by the implanted ions impact.

В последние 30 лет электропроводящие полимеры стали объектом всестороннего изучения, в частности их электрические, магнитные и оптические свойства, обуславливающие их широкое применение в различных областях техники и электроники, а также в медицине [1]. В результате большого количества исследований найдены различные способы модификации свойств полимеров, наиболее популярными среди которых являются метод ионной имплантации [2], электрохимическое легирование [3], диффузия [4], лазерный отжиг [5] и др. Многими исследователями активно изучается возможность создания электропроводящих слоев в полимерных пленках путем их модификации ионной имплантацией и последующим химическим легированием. Работы, проводимые в данном направлении, показали возможность формирования электропроводящих структур на базе полимеров, исходно являющихся диэлектриками [6]. При бомбардировке полимера ионами возникает большое число радиационных дефектов, которые могут выступать как центры захвата атомов или молекул при последующей диффузии. Таким образом, диффузия неорганических веществ из газовой, жидкой или твердой фазы в ионно-имплантированные полимеры позволяет осуществлять дальнейшую модификацию свойств поверхности высокомолекулярных соединений.

В данном исследовании использовались образцы полиэтилена (ПЭ) толщиной 15 мкм с плотностью 0,945 г/см. Образцы имплантировались ионами F^+ , As^+ , Sb^+ с энергией 150 кэВ дозами $1,10^{12}$ – $1,10^{15}$ см⁻² при комнатной температуре, давление в камере имплантатора поддерживалось 10 Па. Плотность тока не превышала 50 нА/см для предотвращения термической деструкции полимера. После имплантации образцы выдерживались в парах йода в течение 4 ч при температуре 363 К. Измерения электрического сопротивления исследуемых образцов проводились по стандартной двухконтактной методике [7] при комнатной температуре и давлении 10 Па. Для этих целей использовался пикоамперметр KEITHLEY 487 со встроенным источником постоянного тока. Для определения зависимости слоевого сопротивления от температуры образцы помещались в криостат с жидким азотом, где первоначально охлаждались до температуры 100 К, а затем постепенно нагревались до 375 К с шагом 1 К.

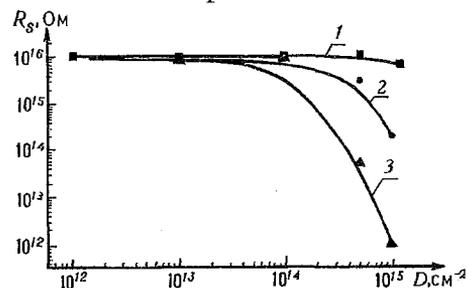


Рис.1. Зависимость слоевого сопротивления образцов полиэтилена от дозы имплантации различными ионами:

1 – F^+ , 2 – As^+ , 3 – Sb^+

Ионная имплантация полиэтилена приводит к созданию большого количества двойных связей, а также карбонильных групп, что оказывает влияние на проводимость полимера [8]. На рис.1 представлена зависимость слоевого сопротивления (R_s) от дозы имплантации для образцов ПЭ, имплантированных различными ионами. Для пленок ПЭ, имплантированного ионами F^+ , зависимость слоевого сопротивления

является монотонно убывающей функцией дозы имплантации, причем разница величин слоевого сопротивления для доз имплантации $1,10^{12}$ см⁻² и $1,10^{15}$ см⁻² составляет меньше 0,5 порядка величины. Для образцов, имплан-

тированных более тяжелыми ионами As^+ и Sb^+ , наблюдается резкое уменьшение R_s (более чем на 2 порядка) при дозе имплантации $\geq 5,10^{14} \text{ см}^{-2}$. Такой характер зависимости слоевого сопротивления от дозы имплантации исследуемых образцов связан, прежде всего, с процессом карбонизации полиэтилена при дозах имплантации $\geq 5,10^{14} \text{ см}^{-2}$ [9–11]. Нами также проводились исследования зависимости значения слоевого сопротивления от температуры образцов ПЭ, имплантированных ионами As^+ и Sb^+ , которые показали, что с ростом температуры значения слоевого сопротивления уменьшаются. Такие зависимости электрического сопротивления от температуры качественно сходны с аналогичными зависимостями проводимости для неорганических полупроводниковых материалов.

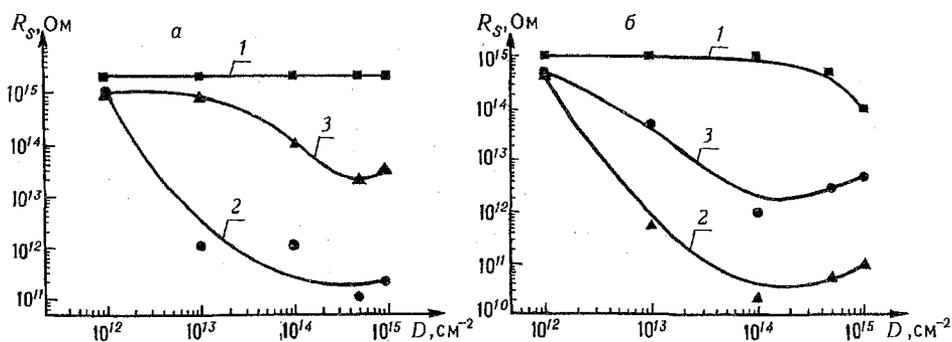


Рис.2а. Зависимость слоевого сопротивления пленок полиэтилена от дозы имплантации ионов F^+ :
1 – после имплантации, 2 – после имплантации и диффузии, 3 – через 72 ч после диффузии

Рис.2б. Зависимость слоевого сопротивления пленок полиэтилена от дозы имплантации ионов As^+ :
1 – после имплантации, 2 – после имплантации и диффузии, 3 – через 72 ч после диффузии

Далее нами была проведена диффузия йода во все имплантированные образцы по описанной методике. Для имплантированных ионами F^+ образцов ПЭ после диффузии наблюдалось незначительное уменьшение слоевого сопротивления (рис.2а, кривая 1) по сравнению с нелегированными йодом образцами. В случае полиэтиленовых пленок, имплантированных ионами As^+ , последующая диффузия йода приводит к уменьшению слоевого сопротивления на 3–4 порядка (рис.2б, кривая 2) при дозах имплантации $\geq 1,10^{13} \text{ см}^{-2}$. Такое значительное уменьшение слоевого сопротивления, по-видимому, обусловлено высокой степенью карбонизации полиэтилена, имплантированного более тяжелыми по сравнению с F^+ ионами As^+ , и формированием углеродных кластеров, характеризующихся наличием большого числа делокализованных π -электронов [10]. В целом механизм влияния йода на рост проводимости остается неясным. Кривая 3 (см. рис.2а,б), соответствующая измерениям через 72 ч после диффузии, отражает рост R_s , обусловленный обратной диффузией внедренного йода из модифицированного полиэтилена. Временная зависимость слоевого сопротивления, измеренная за 1104 ч после окончания диффузии, показала, что значение слоевого сопротивления резко возрастает в первые 200 ч после диффузии. В последующий период (200–1104 ч) наблюдается лишь незначительное плавное увеличение R_s и постепенно слоевое сопротивление практически достигает значения, измеренного до диффузии.

Наблюдаемый рост R_s качественно согласуется с изменением содержания йода и его глубинного распределения [11]. Однако наблюдаемое изменение содержания йода в радиационно-нарушенном слое намного меньше, чем изменение слоевого сопротивления. Следовательно, увеличение R_s на несколько порядков происходит вследствие особых релаксационных процессов, в которых большинство атомов йода теряет свою электрическую активность.

Для получения дополнительной информации об электрической активности внедренных атомов йода была исследована зависимость слоевого сопротивления от температуры измерений для образцов ПЭ, имплантированных ионами F^+ после проведения диффузии йода (рис.3). При $T < 240$ К измеряемое значение слоевого сопротивления было выше чувствительности используемой аппаратуры (Keithley 487-5, 10^{15} Ом). На приведенном графике зависимости наблюдаются два различных интервала – до $T = 330$ К значение слоевого сопротивления представляет собой убывающую функцию температуры, что характерно для полупроводниковых материалов. В температурном интервале от 330 К до 375 К наблюдается увеличение R_s . С дальнейшим ростом температуры до 430 К наблюдается уменьшение значения слоевого сопротивления на 3 порядка. Вероятно, это происходит вследствие термической деструкции образца (температура стеклования ПЭ – от 380 К до 414 К). Как было показано [11], только небольшая часть внедренного йода оказывает влияние на проводимость исследуемых образцов. Тем не менее микроскопический механизм, посредством которого йод оказывает влияние на проводимость полимеров, остается не вполне ясным. Как известно [4], в полиэтилене йод является акцептором, поэтому диффузия йода в имплантированный ПЭ обуславливает полупроводниковые свойства образцов, проявляющиеся при низких (до 330 К) температурах.

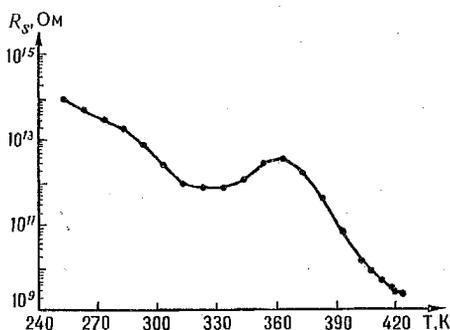


Рис.3. Зависимость слоевого сопротивления пленок полиэтилена, имплантированного ионами F^+ и легированного йодом, от температуры образца

Диффузия йода приводит к уменьшению значения слоевого сопротивления на 0,5–4 порядка в зависимости от параметров предшествовавшей ионной имплантации. Изменения электрического сопротивления являются нестабильными, так как после окончания диффузии наблюдается возрастание значения R_s . Полученные результаты подтверждают концепцию захвата йода на дефектах, возникающих вследствие ионной имплантации.

1. Jankovskij O., Švorčík V., Rybka V. // J. Electr. Engineering. 1995. 46. №6. P.226.
2. Švorčík V., Rybka V., Ěndršt R., Hnatowicz V., Kvitek J., Seidl P. // J. Appl. Polym. Sci. 1993. №49. P.1939.
3. Lewis T.J., Taylor D.M. // J. Phys. D. 1972. №5. P.1664.
4. Davenas J., Xu X.L. // Nucl. Instr. and Meth. 1992. B 71. P.33.
5. Schumann M., Sanerbrey R. // Appl. Phys. Lett. 1991. №58. P.428.
6. Loh I.H., Oliver R.W., Sioshansi P. // Nucl. Instrum. Meth. 1988. B 34. P.337.
7. Лушайкин Г.Л. // Методы исследования электрических свойств полимеров. М., 1988.

8. Švorčík V., Rybka V., Ěndršt R., Hnatowicz V., Kvitek J. // J. Electrochem. Soc. 1993. №140. P.542.

9. Calcagno L., Compagnini G., Foti G. // Nucl. Instr. and Meth. 1992. B 65. P.413.

10. Svorcik V., Rybka V., Hnatowicz V., Kvitek J. // Matter. Letters 1994. №19. P.329.

11. Jankovskij O., Švorčík V., Rybka V., Hnatowicz V., Popok V. // Nucl. Instr. and Meth. 1995. B 95. P.192.

Поступила в редакцию 11.05.98.

УДК 621.315

В.А. ПИЛИПЕНКО, В.Н. ПОНОМАРЬ, В.А. ГОРУШКО, М.И. ТАРАСИК, А.М. ЯНЧЕНКО

УЛУЧШЕНИЕ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ ПЛЕНОК АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ НА КРЕМНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЫСТРОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

The morphological changes of aluminum films after rapid thermal processing were studied. It is shown that such processing results in the equal-grained structure of these films.

Для создания интегральных микросхем (ИМС) с мелкозалегающими *p-n*-переходами и многоуровневой металлизацией необходимым условием является уменьшение взаимодействия кремния с алюминием и отсутствие на поверхности первого и последующих уровней металлизации аномально высоких бугров. В настоящее время для решения этих задач, а также стабилизации структуры пленок алюминия и его сплавов с успехом применяется быстрая термообработка (БТО).

Поскольку любое термическое воздействие приводит к проявлению недостатков алюминиевой металлизации, то уже на стадиях плазмохимического травления алюминия и плазмохимического удаления фоторезиста происходит взаимодействие алюминия с кремнием и образование аномально высоких бугров на поверхности алюминиевой пленки. Поскольку после БТО структура пленки алюминия становится более равновесной, можно предположить устойчивость такой структуры к последующим термообработкам, если БТО пленок алюминия проводить сразу после их напыления.

Для оценки изменения структуры пленки алюминия с добавками кремния при БТО изучалась ее структура до и после обработки, а также после плазмохимического травления (ПХТ) алюминия, плазмохимического удаления фоторезиста (ПХУФ), длительной термической обработки в режиме формирования омического контакта ($T=783$ К в течение 15 мин). Следует отметить, что плазмохимические и длительная термическая обработки проводились как на пластинах, проходивших БТО после напыления алюминия, так и без нее. БТО обеспечивала нагрев пластины до температуры 783 К при скорости ее набора 490 К/с. Использование такого режима, как было установлено ранее [1], является оптимальным для обработки алюминиевой металлизации методом БТО.

В результате проведенных исследований с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии и одновременного компьютерного анализа, позволяющего обрабатывать изображение морфологии поверхности пленок цифровым методом, установлены следующие закономерности (рис. 1,2). Исходные пленки алюминия, толщина которых составляла 0,65–0,75 мкм,