

Дальнодействующее влияние облучения кремния светом на фотоэдс барьера Шоттки

© Д.И. Тетельбаум[¶], С.В. Тихов, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева

Научно-исследовательский физико-технический институт
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,
603950 Нижний Новгород, Россия

(Получена 15 ноября 2011 г. Принята к печати 21 ноября 2011 г.)

Установлено, что в результате облучения светом (со стороны базы) образца кремния с барьером Шоттки происходит уменьшение фотоэдс барьера. Величина фотоэдс восстанавливается приблизительно через 0.5 ч после облучения. Изменения фотоэдс при облучении сопоставляются с поведением микротвердости кремния и интерпретируются на основе представления о генерации точечных дефектов в эффекте дальнодействия.

1. Введение

В ряде работ было установлено, что облучение светом поверхности фольг металлов [1–8] и пластин кремния [9,10] приводит к изменению состояния их дефектной системы, фиксируемому по изменениям микротвердости (H) на стороне, противоположной облучаемой. При этом данные изменения не обусловлены непосредственно действием света на дефекты, локализованные вблизи обратной стороны образца. Действительно, в металлах свет проникает на глубины, много меньшие, чем толщина использованных фольг, а в случае кремния изменения происходили и в тех ситуациях, когда образец был экранирован от попадания света металлической фольгой (находящейся с ним в плотном контакте). Данный феномен — это одно из проявлений так называемого эффекта дальнодействия (ЭД), ранее установленного нами для случая ионного облучения [11].

При объяснении дальнодействующего влияния светового облучения на микротвердость кремния [9,10] мы предполагали, что под действием возбуждаемых при облучении акустических (гиперзвуковых) волн в некотором слое вблизи обратной стороны образца происходит эмиссия точечных дефектов из атмосфер Коттрела протяженных дефектов (например, дислокаций). После выключения света точечные дефекты диффундируют обратно к местам своей прежней локализации, и система возвращается к исходному состоянию (имеет место релаксация). Так как точечные дефекты могут обладать электрической активностью, можно ожидать, что под действием облучения светом не только микротвердость, но также электрические свойства кремния и структур, сформированных на обратной стороне образца, претерпевают соответствующие изменения. В настоящей работе исследовано изменение величины фотоэдс барьера Шоттки (БШ), созданного на стороне образца кремния, противоположной облучаемой светом, причем измерения фотоэдс проводятся через различные промежутки времени после прекращения облучения.

2. Методика эксперимента

Использовался кремний марки КЭФ-20 с ориентацией поверхности (111). Толщина образцов составляла ~ 400 мкм, БШ создавались путем термического испарения алюминия. Поверхность образцов была подвергнута стандартной химико-механической полировке. Перед нанесением металла естественный окисел, присутствующий на образцах, не удалялся. (Наличие окисла на облучаемой стороне — обязательное условие для проявления ЭД [3,9,10].)

Облучение образца с БШ светом лампы накаливания мощностью 20 Вт, расположенной на расстоянии 7 см от поверхности, проводилось со стороны базы. Плотность мощности излучения на образце составляла $\sim 10^{-2}$ Вт/см², при этом повышение температуры образца не превышало нескольких градусов. Спектры фотоэдс (V_{ph}) при нулевом смещении на БШ измерялись с помощью монохроматора. Для других образцов, идентичных тем, на которых изготавливались БШ, проводились эксперименты по влиянию облучения на микротвердость H , измеряемую на стороне, противоположной облучаемой, причем условия облучения и выдержки после облучения были аналогичны указанному. Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Методика измерения H описана в [12].

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены спектры фотоэдс, измеренные на одном и том же образце до облучения светом и после облучения через определенные промежутки времени τ . Чтобы исключить погрешности, связанные с переустановкой образца, последний оставался закрепленным на держателе до окончания эксперимента. Как видно из рисунка, облучение, практически не изменяя вида спектра, приводит к существенному снижению амплитуды фотоэдс. С течением времени величина V_{ph} постепенно возвращается к исходному значению. Аналогично ведет себя и обратная величина микротвердости H : в результате облучения H возрастает, а затем восстанавливается

[¶] E-mail: tetelbaum@phys.unn.ru

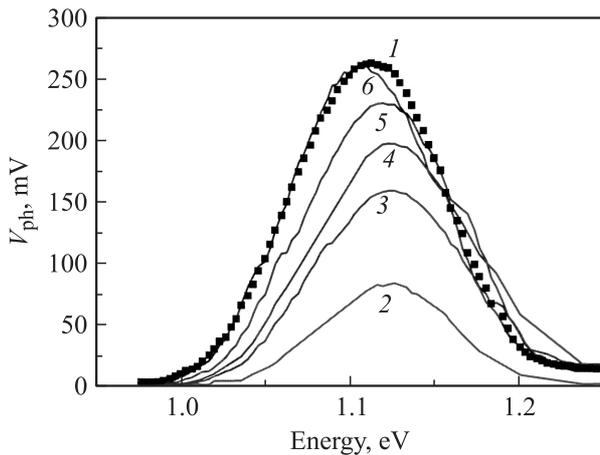


Рис. 1. Спектральные зависимости фотоэдс до (1) и после облучения светом через 7 (2), 14 (3), 22 (4), 27 (5), 35 мин (6).

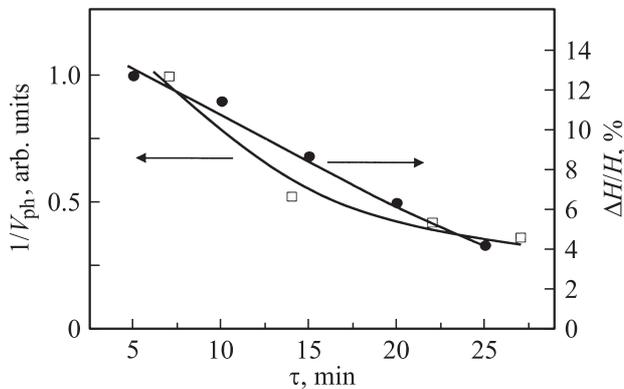


Рис. 2. Изменение $1/V_{ph}$ и $\Delta H/H$ в зависимости от промежутка времени, прошедшего после прекращения облучения.

до исходного уровня, что полностью соответствует ранее опубликованным результатам [9,10]. Чтобы показать идентичность поведения обратной величины фотоэдс относительного изменения микротвердости ($\Delta H/H$), зависимости V_{ph}^{-1} и ($\Delta H/H$) от времени τ приведены на рис. 2 в нормированной форме. Видно, что эти величины изменяются практически синхронно; время возврата к исходному состоянию обоих параметров составляет ~ 0.5 ч.

Следует отметить, что образец кремния прозрачен для длинноволновой части спектра (для фотонов с энергией $h\nu < E_g$, где E_g — ширина запрещенной зоны). Однако, как и в случае микротвердости, наблюдаемые изменения V_{ph} нельзя объяснить непосредственным влиянием фотонов, проникающих через образец: в контрольном эксперименте, в котором на облучаемый образец была наложена заведомо непрозрачная для света алюминиевая фольга (толщиной 20 мкм), поведение V_{ph} было аналогичным показанному на рис. 1 и 2.

Идентичность поведения фотоэлектрических и механических свойств при облучении светом свидетельствует о том, что эти изменения в конечном счете

обусловлены одной и той же причиной и связаны с трансформацией системы дефектов. Снижение V_{ph} в результате облучения может происходить либо вследствие уменьшения высоты барьера металл–полупроводник, либо вследствие появления центров рекомбинации носителей. Высота барьера в свою очередь может снижаться из-за изменения уровня Ферми в кремнии за счет генерации электрически активных точечных дефектов, вносящих донорные или акцепторные уровни. Если вводимые дефекты являются центрами рекомбинации носителей, это тоже должно приводить к снижению фотоэдс вследствие уменьшения (при засветке в процессе измерения V_{ph}) стационарного потока возбужденных носителей. В обоих случаях изменение свойств БШ обусловлено генерацией точечных дефектов в области, прилегающей к контакту металл–полупроводник. Если это так, то по крайней мере часть точечных дефектов, ответственных за ЭД, электрически активна.

Изменения H могут происходить, вообще говоря, независимо от зарядового состояния дефектов. Эти изменения обусловлены либо торможением генерируемых под индентером дислокаций точечными дефектами, либо влиянием точечных дефектов на фазовые превращения в зоне контакта индентера с кремнием.

Предположение о том, что источником точечных дефектов в ЭД служат именно атмосферы Коттрела дислокаций, подтверждается следующим фактом. Оказалось, что при облучении „бездислокационного“ кремния, в котором плотность дислокаций была по крайней мере на один порядок величины меньше по сравнению с таковой в образцах, использованных для указанных выше экспериментов ($\sim 10^4 \text{ см}^{-2}$), изменения микротвердости оказались незначительными — на уровне погрешности измерения.

Таким образом, полученные результаты могут быть интерпретированы в рамках представлений, выработанных ранее [9,10] при исследовании эффекта дальнодействия.

4. Заключение

Облучение светом кремния с барьером Шоттки, производимое со стороны базы, приводит к снижению величины фотоэдс барьера. После облучения величина фотоэдс возвращается к исходному значению за время ~ 30 мин. Такое поведение коррелирует с изменением микротвердости и свидетельствует о генерации вблизи стороны образца, обратной облучаемой, точечных дефектов, обладающих электрической активностью. Изменения величины фотоэдс барьера Шоттки и микротвердости на стороне, противоположной облучаемой, связаны с эффектом дальнодействия. Механизм этого эффекта обсуждался ранее [9,10] и подлежит дальнейшему изучению.

Результаты данного эксперимента имеют отношение к измерительной технике. Они показывают, что при фотоэлектрических измерениях образцов кремния и,

возможно, других полупроводников, интенсивность засветки не должна превышать порога, достаточного для ЭД, и во всяком случае возможность влияния ЭД нужно иметь в виду.

Список литературы

- [1] Д.И. Тетельбаум, А.А. Трофимов, А.Ю. Азов, Е.В. Курильчик, Е.Е. Доценко. Письма ЖТФ, **24** (23), 9 (1998).
- [2] D.I. Tetelbaum, A.Yu. Azov, E.V. Kuril'chik, V.Ya. Bayankin, F.Z. Gilmutdinov, Yu.A. Mendeleva. Vaccum, **70** (2–3), 169 (2003).
- [3] Д.И. Тетельбаум, А.Ю. Азов, П.И. Голяков. Письма ЖТФ, **29** (2), 35 (2003).
- [4] Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, А.Ю. Азов, Ю.А. Менделева, М.В. Таболкин. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 4, 67 (2003).
- [5] Д.И. Тетельбаум, Ю.А. Менделева, А.Ю. Азов. Письма ЖТФ, **30** (11), 65 (2004).
- [6] Ю.А. Менделева, Е.В. Курильчик, Ю.А. Новицкий, А.А. Суворкин, Д.И. Тетельбаум. Вест. ННГУ. Сер. ФТТ, **1** (8), 80 (2005).
- [7] Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева, А.Ю. Азов. Изв. РАН. Сер. физ., **70** (8), 1161 (2006).
- [8] Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева, А.Ю. Азов. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 3, 47 (2006).
- [9] Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, № 3, 94 (2009).
- [10] Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, Ю.А. Менделева, О.И. Быстрова. Вест. ННГУ. Сер. ФТТ, **5**, 42 (2009).
- [11] D.I. Tetelbaum, E.V. Kuril'chik, N.D. Latisheva. Nucl. Instr. Meth., **127/128**, 153 (1997).
- [12] Д.И. Тетельбаум, А.Ю. Азов. Вест. ННГУ. Сер. ФТТ, **2** (5), 120 (2001).

Редактор Л.В. Шаронова

Long-range influence of silicon irradiation with light on the photo-emf of Shottky barrier

D.I. Tetelbaum, S.V. Tikhov, E.V. Kuril'chik, Yu.A. Mendeleva

Physico-Technical Research Institute
of Nizhny Novgorod State University,
603950 Nizhny Novgorod, Russia

Abstract It has been established that the photo-emf of Shottky barrier on silicon is reduced as a result of irradiation with light from the base side. The value of photo-emf is restored through about 0.5 h after the irradiation. The changes of photo-emf under irradiation are compared with the behavior of silicon microhardness and are interpreted on the basis of the conception of point defects generation in the long-range effect.