

06;07

Влияние освещения на электрические и фотоэлектрические параметры $\mu\text{c-Si:H}$, слаболегированного бором

© А.Г. Казанский, С.Н. Козлов, Х. Мелл, П.А. Форш

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Philipps-Universitat Marburg, D-35032, Marburg, Germany

Поступило в Редакцию 15 ноября 1999 г.

Обнаружено увеличение проводимости и фотопроводимости $\mu\text{c-Si:H}$, слаболегированного бором, после его освещения в полосе собственного поглощения. Показано, что наблюдаемые изменения определяются окружающей образец средой и могут быть связаны с фотозаряджением молекул кислорода, адсорбированных пленкой $\mu\text{c-Si:H}$.

В последние годы микрокристаллический гидрированный кремний ($\mu\text{c-Si:H}$) привлекает к себе внимание в связи с перспективами его использования в оптоэлектронике. В значительной степени это связано с тем, что в отличие от аморфного гидрированного кремния параметры нелегированных пленок $\mu\text{c-Si:H}$ не деградируют под воздействием длительного освещения [1]. Известно, что нелегированные пленки $\mu\text{c-Si:H}$ имеют относительно высокую проводимость n -типа ($10^{-4} - 10^{-3} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) [2], связанную с неконтролируемо вводимым в процессе их получения кислородом [3], и малую фоточувствительность [2]. Введение малых концентраций бора в $\mu\text{c-Si:H}$ на несколько порядков уменьшает проводимость материала [1,2,4] и, что особенно существенно, значительно увеличивает фоточувствительность $\mu\text{c-Si:H}$ [1,2,4]. В литературе, однако, отсутствуют данные о стабильности свойств слаболегированных бором пленок $\mu\text{c-Si:H}$ при длительном воздействии света. В настоящей работе исследовано влияние освещения на стабильность электрических и фотоэлектрических параметров таких пленок.

Исследовались легированные бором пленки $\mu\text{c-Si:H}$, полученные в Марбургском университете разложением в тлеющем разряде смеси газов моносилана (SiH_4), диборана (B_2H_6) и водорода. Содержание

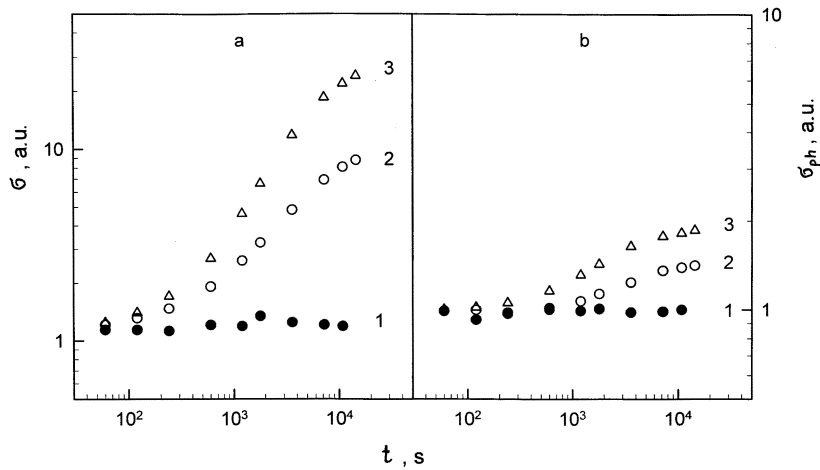


Рис. 1. Зависимости относительных изменений проводимости (а) и фотопроводимости (b) пленки $\mu\text{c-Si:H}$ от времени ее освещения в вакууме 10^{-3} Pa (1) и в сухом воздухе при давлении 10 Pa (2) и 10^5 Pa (3).

водорода в газовой смеси составляло 98.5%, а объемное отношение $\text{V}_2\text{H}_6/\text{SiH}_4 = 4 \cdot 10^{-6}$. Пленки толщиной 0.6–0.7 μm осаждались на кварце при температуре подложки 220°C . На поверхности пленки напылялись магниевые контакты. Величина фотопроводимости измерялась при возбуждении пленок светом с энергией квантов 1.8 eV и интенсивностью $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Влияние длительного воздействия света при комнатной температуре на проводимость (σ_d) и фотопроводимость пленок исследовалось с помощью лампы накаливания с тепловым фильтром (интенсивность света 60 mW/cm^2). Перед освещением пленки отжигались в течение 30 min в вакууме 10^{-3} Pa при температуре 180°C . Измерения проводились как в вакууме, так и в атмосфере сухого воздуха.

По данным сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии пленки представляли собой систему "колонн" диаметром 30–100 nm, ориентированных перпендикулярно поверхности подложки и содержащих кристаллы размерами от 3 до 30 nm [5]. Анализ спектров рамановского рассеяния показал, что кристаллическая компонента в

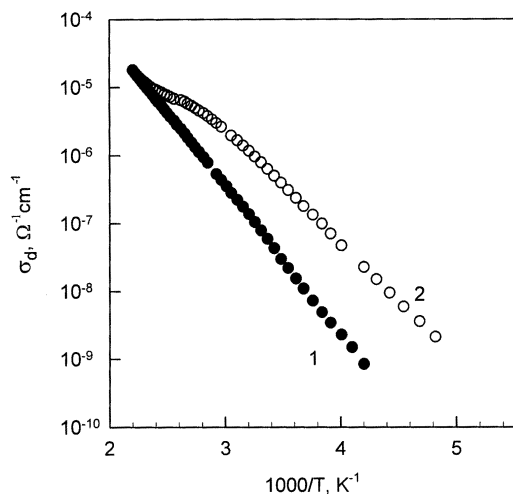


Рис. 2. Температурные зависимости темновой проводимости отожженного в вакууме образца до (1) и после (2) его освещения в течение 4 h в сухом воздухе при давлении 10 Pa. Измерения проводились в вакууме 10^{-3} Pa.

спектре исследованных пленок составляет 85% полной площади пика [5]. Согласно данным термоэдс, пленки обладали проводимостью *p*-типа.

Исследования показали, что значения проводимости и фотопроводимости слабелегированных бором пленок $\mu\text{c-Si:H}$ не зависят от окружающей образец среды (вакуум или воздух). В то же время условия, в которых проводилось длительное освещение образца, существенным образом влияли на изменение его электрических и фотоэлектрических параметров. Как видно из рис. 1, освещение пленки в вакууме 10^{-3} Pa не приводило к изменению проводимости и фотопроводимости образца. В то же время освещение $\mu\text{c-Si:H}$ в атмосфере сухого воздуха увеличивает проводимость и фотопроводимость пленки. Снижение давления остаточных газов в камере приводило к уменьшению наблюдаемых эффектов.

На рис. 2 представлены температурные зависимости проводимости отожженного в вакууме образца до (1) и после (2) его освещения при комнатной температуре в течение 4 h в сухом воздухе при давлении 10 Pa. Измерения проводимости в обоих случаях проводились в ваку-

уме 10^{-3} Pa при повышении температуры. Температурная зависимость проводимости отожженного образца имеет активационный характер с энергией активации $E_a = 0.43$ eV. Длительное освещение в сухом воздухе приводит к увеличению проводимости и уменьшению величины E_a . По мере повышения температуры (кривая 2) наблюдается постепенный "отжиг" изменения проводимости, вызванного освещением в сухом воздухе, и при $T > (450-460)$ K исходное значение проводимости пленки восстанавливалось.

По нашему мнению, наблюдаемые эффекты могут быть обусловлены захватом фотогенерированных электронов на орбитали адсорбированных на границах колонн и внешней поверхности пленки $\mu\text{c-Si:H}$ молекул кислорода. Эффекты такого рода ранее наблюдались на реальной [6] и термически окисленной [7] поверхности кремния. Адсорбционные электронные состояния, проявляющиеся в этих эффектах, отделены от объема полупроводника потенциальным барьером, связанным с присутствием тонкого окисного слоя на поверхности. Преодолеть этот барьер могут только наиболее "горячие" из фотогенерированных в полупроводнике электронов. В кристаллах с несовершенным поверхностным оксидом оптический порог отрицательного фотозаряжения адсорбированных состояний лежит в области видимого света ($h\nu > 2.6$ eV) [6]. После захвата электрона связь молекулы с поверхностью упрочняется и ее десорбция становится возможной только при повышенных температурах $T \geq (450 - 460)$ K (рис. 2).

Отрицательное фотозаряжение поверхности $\mu\text{c-Si:H}$ приводит к увеличению концентрации свободных дырок в пленке и, кроме того, возрастанию их подвижности из-за снижения потенциальных барьеров на границах колонн. В результате проводимость пленки возрастает. Увеличение фотопроводимости, по-видимому, обусловлено снижением скорости рекомбинации неравновесных носителей заряда из-за изменения поверхностного потенциала микрокристаллов $\mu\text{c-Si:H}$.

Из приведенных данных можно заключить, что эффекты изменения проводимости и фотопроводимости нелегированных пленок $\mu\text{c-Si:H}$ при длительном освещении также присутствуют, но они могут быть незаметными на фоне высокой проводимости и низкой фоточувствительности этого материала.

Работа выполнена в рамках проекта INTAS-97-1910.

Список литературы

- [1] *Williams M.J., Wang C., Lucovsky G.* // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 1991. V. 219. P. 389–394.
- [2] *Fluckiger R., Meier J., Goetz M.* et al. // J. Appl. Phys. 1995. V. 77. N 2. P. 712–716.
- [3] *Torres P., Meier J., Fluckiger R.* et al. // Appl. Phys. Lett. 1996. V. 69. N 12. P. 1373–1376.
- [4] *Bruggemann M., Heirzenberger A., Reining P.* et al. // J. Non-Cryst. Solids. 1998. V. 227–230. P. 982–985.
- [5] *Ruff D., Mell H., Toth L.* et al. // J. Non-Cryst. Solids. 1998. V. 227–230. P. 1011–1014.
- [6] *Козлов С.Н., Кузнецов С.Н.* // ФТП. 1978. Т. 12. В. 9. С. 1680–1685.
- [7] *Козлов С.Н., Кузнецов С.Н.* // Изв. вузов. Физика. 1981. В. 1. С. 92–96.