

Фотопроводимость тонких пленок аморфного гидрированного кремния

© А.Г. Казанский[¶], О.Г. Кошелев, А.Ю. Сазонов⁺, А.А. Хомич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119992 Москва, Россия

⁺ Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo,
Ontario, N2L 3G1, Canada

(Получена 20 февраля 2007 г. Принята к печати 18 апреля 2007 г.)

Исследованы фотоэлектрические и оптические свойства пленок нелегированного аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si:H}$) толщиной 60–100 нм. Измерены температурные зависимости фотопроводимости в области температур 130–440 К и спектральные зависимости коэффициента поглощения в области края поглощения. Сравнительные измерения величины фотопроводимости при комнатной температуре и коэффициента поглощения в „дефектной“ области спектра (энергия фотонов $h\nu = 1.2$ эВ) указывают на то, что рекомбинация неравновесных носителей и соответственно фотопроводимость пленок $a\text{-Si:H}$ толщиной ~ 100 нм определяются концентрацией содержащихся в них дефектов.

PACS: 73.50.Gr, 73.50.Pz, 73.61.Jc

Пленки аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si:H}$) широко используются для создания различных электронных и оптоэлектронных приборов, в частности фотоприемников, солнечных элементов и матриц управления жидкокристаллическими дисплеями. В большинстве работ, посвященных изучению электрических и фотоэлектрических свойств данного материала, измерения проводились на пленках $a\text{-Si:H}$, толщина которых (d) близка к 1 мкм. В то же время в электронных и оптоэлектронных структурах, созданных на основе $a\text{-Si:H}$, используются пленки $a\text{-Si:H}$ существенно меньшей толщины (сотни и даже десятки нанометров). Исследования, проведенные в работах [1–6], показали, что величина проводимости и фотопроводимости пленок $a\text{-Si:H}$ зависит от их толщины, причем характер изменения данных параметров при изменении толщины различен для нелегированных и легированных пленок $a\text{-Si:H}$.

Проблема интерпретации данных, полученных для фотопроводимости пленок $a\text{-Si:H}$ толщиной, составляющей десятки и сотни нанометров, связана в том, что величина d сравнима с диффузионной длиной неравновесных носителей (50–150 нм) в $a\text{-Si:H}$ [6] и характерными размерами области приповерхностного искривления зон, возникающего в результате наличия поверхностных состояний [3,7]. Помимо этого, согласно [8–10], вблизи поверхности пленки $a\text{-Si:H}$ находится слой толщиной 10–20 нм, концентрация дефектов в котором превосходит концентрацию дефектов в объеме на 2–3 порядка. Указанные особенности затрудняют выяснение факторов, определяющих фотопроводимость тонких пленок $a\text{-Si:H}$. В частности, уменьшение фотопроводимости нелегированных пленок при уменьшении d связывают либо с увеличением концентрации дефектов в тонких пленках [6], либо с наличием положительного заряда в приповерхностном слое [3,4].

В связи с этим представляется интересным исследовать фотоэлектрические свойства тонких нелегированных пленок $a\text{-Si:H}$ и корреляцию величины фотопроводимости с концентрацией дефектов.

В настоящей работе исследованы тонкие пленки $a\text{-Si:H}$, полученные в Университете Ватерлоо в результате разложения моносилана в высокочастотном тлеющем разряде. Толщина исследованных пленок составляла 0.06, 0.08, 0.09 и 0.10 мкм (образцы 1, 2, 3, 4 соответственно). В качестве подложки использовалось кварцевое стекло. Все исследованные пленки были получены при температуре подложки 260°C. Для проведения электрических и фотоэлектрических измерений на поверхности пленок напылялись контакты из алюминия. Расстояние между контактами составляло 0.8 мм. Измерения фотопроводимости проводились при освещении пленок излучением от монохроматора с энергией кванта $h\nu = 1.85$ эВ и интенсивностью 10^{14} см⁻² · с⁻¹. Перед измерениями пленки отжигались в течение 30 мин в вакууме при остаточном давлении 10^{-3} Па при температуре 180°C.

На рис. 1 представлены температурные зависимости проводимости (σ_d) и фотопроводимости ($\Delta\sigma_{ph} = \sigma_{ph} - \sigma_d$) исследованных пленок (σ_{ph} — проводимость пленки при освещении). При комнатной температуре значения проводимости для всех исследованных пленок по порядку величины близки друг к другу и составляют $(5-10) \cdot 10^{-10}$ Ом⁻¹ · см⁻¹. При температурах $T > 350$ К температурные зависимости σ_d имеют активационный характер с энергией активации $E_a = 0.8-0.9$ эВ, характерной для нелегированных пленок $a\text{-Si:H}$.

Величина фотопроводимости исследованных пленок монотонно возрастает с ростом температуры. При этом на температурных зависимостях $\Delta\sigma_{ph}$ можно выделить два характерных участка, а именно, область слабого изменения $\Delta\sigma_{ph}$ при низких температурах и область силь-

[¶] E-mail: Kazanski@phys.msu.ru

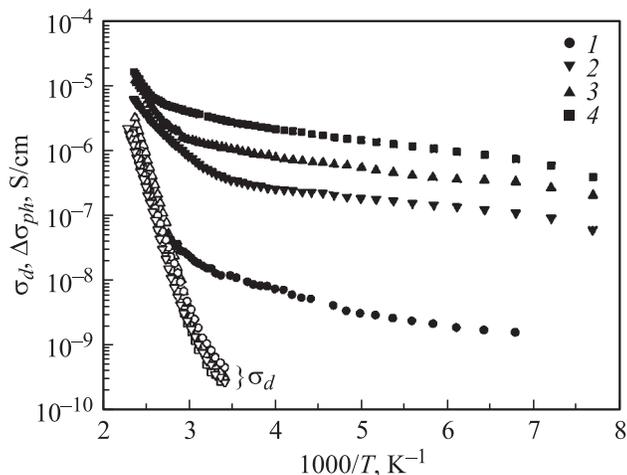


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости σ_d и фотопроводимости $\Delta\sigma_{ph}$ исследованных пленок. Номера кривых соответствуют номерам образцов.

ного изменения $\Delta\sigma_{ph}$ при температурах, близких к комнатной и превышающих ее. Полученные температурные зависимости фотопроводимости согласуются с теорией, развитой в работе [11], в которой в качестве основных центров рекомбинации неравновесных носителей в нелегированном $a\text{-Si:H}$ рассматриваются дефекты типа оборванных связей с положительной энергией корреляции. Согласно [11], переход от одного участка температурной зависимости фотопроводимости к другому обусловлен сменой механизмов перераспределения неравновесных носителей по уровням дефектов оборванных связей с различными зарядовыми состояниями. Из рис. 1 также видно, что величина фотопроводимости уменьшается при уменьшении толщины пленки, что согласуется с данными, полученными для нелегированного $a\text{-Si:H}$ в работах [4,6].

Для получения информации о концентрации дефектов в исследованных пленках $a\text{-Si:H}$ нами были измерены спектральные зависимости коэффициента поглощения α в области края поглощения. При оптической толщине пленки, сравнимой с длиной волны, определение спектральной зависимости α из спектров поглощения A или пропускания T осложнено влиянием интерференции в пленке. В то же время, согласно [12,13], при $ad \ll 1$, что справедливо для исследованных пленок в области края поглощения, спектральная зависимость отношения A/T не зависит от интерференции и пропорциональна $\alpha(h\nu)$. В нашей работе спектральные зависимости поглощения $A(h\nu)$ в относительных единицах определялись методом постоянного фототока (constant photocurrent method [14]). Для подавления влияния интерференции на полученные результаты спектры коэффициента поглощения $\alpha_{\text{срп}}(h\nu)$ определялись из отношения $A(h\nu)/T(h\nu)$, где $T(h\nu)$ — спектральные зависимости пропускания исследованных пленок, полученные из оптических измерений.

Полученные указанным методом при комнатной температуре спектральные зависимости $\alpha_{\text{срп}}$ в относительных единицах $\alpha_{\text{срп}}(h\nu)/\alpha_{\text{срп}}(1.9\text{эВ})$ представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, для исследованных пленок наблюдается существенное отличие относительных значений коэффициента поглощения в области так называемого „дефектного“ поглощения ($h\nu < 1.5\text{эВ}$), в котором поглощение определяется оптическими переходами с участием состояний дефектов [14]. Согласно [13], для пленок $a\text{-Si:H}$ различной толщины, полученных в одинаковых технологических условиях, значения коэффициента поглощения при межзонном возбуждении ($h\nu > 1.8\text{эВ}$) близки друг к другу. Поэтому изменение величины относительного коэффициента поглоще-

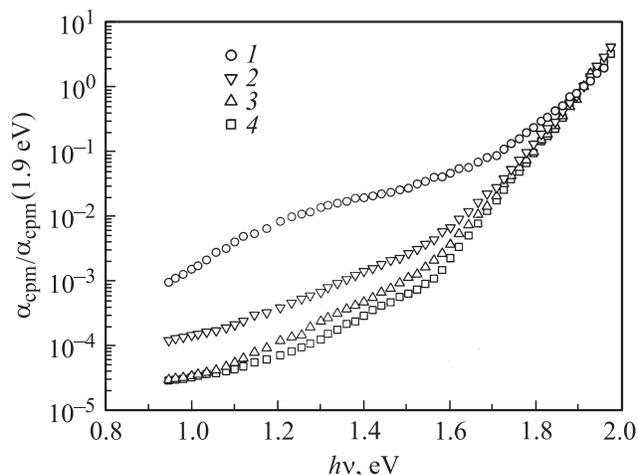


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента поглощения исследованных пленок в относительных единицах $\alpha_{\text{срп}}(h\nu)/\alpha_{\text{срп}}(1.9\text{эВ})$. Номера кривых соответствуют номерам образцов.

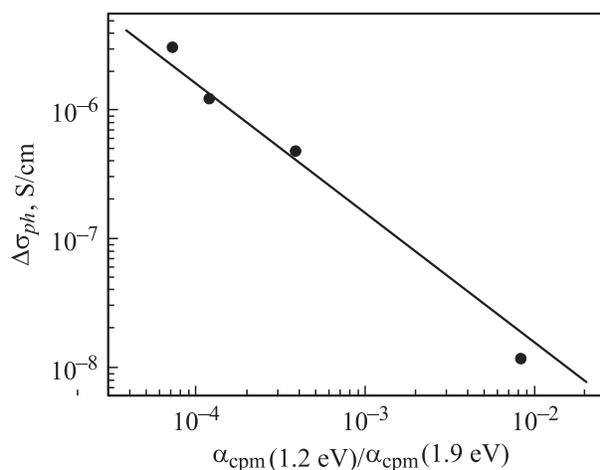


Рис. 3. Корреляция фотопроводимости $\Delta\sigma_{ph}$ при комнатной температуре и величины относительного коэффициента поглощения в „дефектной“ области спектра $\alpha_{\text{срп}}(1.2\text{эВ})/\alpha_{\text{срп}}(1.9\text{эВ})$. Сплошная линия — обратно пропорциональная зависимость.

ния $\alpha_{\text{срм}}/\alpha_{\text{срм}}(1.9\text{ эВ})$ в „дефектной“ области спектра исследованных пленок должно отражать изменение концентрации дефектов в них. Как видно из рис. 2, поглощение в „дефектной“ области спектра и соответственно концентрация дефектов возрастают при уменьшении толщины пленки, что согласуется с данными [13].

Согласно [14], изменение концентрации дефектов в пленках $a\text{-Si:H}$ коррелирует с изменением $\alpha_{\text{срм}}$ при энергии кванта $h\nu = 1.2\text{ эВ}$. На рис. 3 представлены значения фотопроводимости исследованных тонких пленок $a\text{-Si:H}$ при комнатной температуре и относительные значения коэффициента поглощения при $h\nu = 1.2\text{ эВ}$, $\alpha_{\text{срм}}(1.2\text{ эВ})/\alpha_{\text{срм}}(1.9\text{ эВ})$. Как видно, величина $\Delta\sigma_{ph}$ уменьшается при увеличении относительного коэффициента поглощения в „дефектной“ области спектра, причем зависимость $\Delta\sigma_{ph}$ от величины коэффициента поглощения при $h\nu = 1.2\text{ эВ}$ близка к обратно пропорциональной, показанной на рисунке. Этот результат указывает на то, что, как и для пленок $a\text{-Si:H}$ толщиной $\sim 1\text{ мкм}$, время жизни неравновесных носителей заряда и соответственно величина фотопроводимости пленок нелегированного $a\text{-Si:H}$ толщиной $\sim 0.1\text{ мкм}$ определяются в основном концентрацией присутствующих в них дефектов.

Список литературы

- [1] I. Solomon, M.H. Brodsky. *J. Appl. Phys.*, **51**, 4548 (1980).
- [2] D.G. Ast, M.H. Brodsky. *J. Non-Cryst. Sol.*, **35–36**, 611 (1980).
- [3] S. Hasegawa, D. Ando, Y. Kurata, T. Shimizu. *Phil. Mag. B*, **47**, 139 (1983).
- [4] S. Hasegawa, T. Shimizu, Y. Kurata. *Phil. Mag. B*, **49**, 511 (1984).
- [5] B. Ranchoux, D. Jousse, J.-C. Bruyere, A. Deneuve. *J. Non-Cryst. Sol.*, **59–60**, 185 (1983).
- [6] L. Yang, I. Balberg, A. Catalano, M. Bennett. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **192**, 243 (1990).
- [7] H. Fritzsche. In: *Semiconductors and Semimetals*, v. 21, ed. by J.I. Pankov (N.Y.–London–Toronto–Tokyo, Academic Press Inc., 1984) part C, p. 309.
- [8] T. Shimizu, X. Xu, H. Kidoh, A. Morimoto, M. Kumeda. *J. Appl. Phys.*, **64**, 5045 (1988).
- [9] F. Siebke, W. Beyer, J. Heriot, H. Wagner. *J. Non-Cryst. Sol.*, **137–138**, 339 (1991).
- [10] G. Amato, G. Benedetto, L. Boarino, F. Giorgis, R. Spagnolo. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **258**, 258 (1992).
- [11] Л.А. Балагуров, Я.Я. Кютте, Э.М. Омеляновский, С.А. Осташко, Л.Е. Стыс, М.Г. Фойгель. *ФТП*, **19**, 1046 (1985).
- [12] D. Ritter, K. Weiser. *Optics Commun.*, **57**, 336 (1986).
- [13] M. Sasaki, S. Okamoto, Y. Hishikawa, S. Tsuda, S. Nakano. *Sol. Energy Mater. and Solar Cells*, **34**, 541 (1994).
- [14] W. Wyrsh, F. Finger, T.J. McMahon, M. Vanecsek. *J. Non-Cryst. Sol.*, **137–138**, 347 (1991).

Редактор Л.В. Шаронова

Photoconductivity of amorphous hydrogenated silicon thin films

A.G. Kazanskii, O.G. Koschelev, A.Yu. Sazonov⁺,
A.A. Khomich

Department of Physics,
M.V. Lomonosov Moscow State University,
119992 Moscow, Russia
⁺ Department of Electrical and Computer Engineering,
University of Waterloo,
Ontario, N2L 3G1, Canada

Abstract Photoelectrical and optical properties of amorphous hydrogenated silicon ($a\text{-Si:H}$) films with the thickness of 60–100 nm have been investigated. Temperature dependences of photoconductivity in the temperature range 130–440 K and spectral dependences of absorption coefficient in the absorption edge region have been measured. The comparative measurements of room temperature photoconductivity and absorption coefficient in „defect“ subgap region ($h\nu = 1.2\text{ eV}$) pointed out that nonequilibrium carriers recombination and photoconductivity in $a\text{-Si:H}$ films with the thickness of $\sim 100\text{ nm}$ were determined by defect concentration in the films.