

УДК 621.315.592

ОСОБЕННОСТИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ХИМИЧЕСКИМ ТРАВЛЕНИЕМ

© 2012 г. Т. Ю. Белик

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Украина

Проведено комплексное исследование пористых слоев, полученных химическим травлением, определена взаимосвязь между условиями получения и свойствами пористых слоев. Предложена модель проводимости пористых слоев, аналогичная механизму проводимости аморфного кремния. Показано, что пористый кремний, полученный химическим травлением, по своим фотолюминесцентным и светоотражающим свойствам не уступает пористым слоям, полученным электрохимическим способом.

Ключевые слова: пористый кремний, проводимость, химическое травление.

Введение

Пористый кремний — это наноструктурный материал, представляющий большой интерес благодаря ряду уникальных свойств. Традиционным способом получения пористого кремния является электрохимическое травление, но этот метод получения пористых структур имеет некоторые сложности для производственного применения. В связи с этим актуальным является исследование пористых структур, полученных более дешевым и простым химическим травлением.

Изучали пористые слои кремния, полученные в двух травителях $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}$ и $\text{HF} : \text{NaNO}_2 : \text{H}_2\text{O}$. Было проведено комплексное исследование полученных слоев пористого кремния, которое включало в себя исследование морфологии поверхности, химического состава, оптических (фотолюминесценция, спектры отражения и пропускания) и электрофизических (температурная зависимость проводимости,

спектральная фоточувствительность) свойств.

Результаты и их обсуждение

Пористые слои кремния, полученные химическим травлением, обладают высокой пористостью (порядка 70—80 %), что приводит к изменениям в механизмах электропереноса и резкому возрастанию сопротивления до сотен кОм при комнатных температурах. Электропроводимость (G) в пористых слоях подобна проводимости аморфного кремния (рис. 1). На температурной зависимости G можно выделить два участка с различными механизмами электропроводности. При низких температурах ($< 300 \text{ K}$) электропроводимость имеет прыжковую природу и подчиняется закону Мотта [1]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[- \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{1}{4}} \right].$$

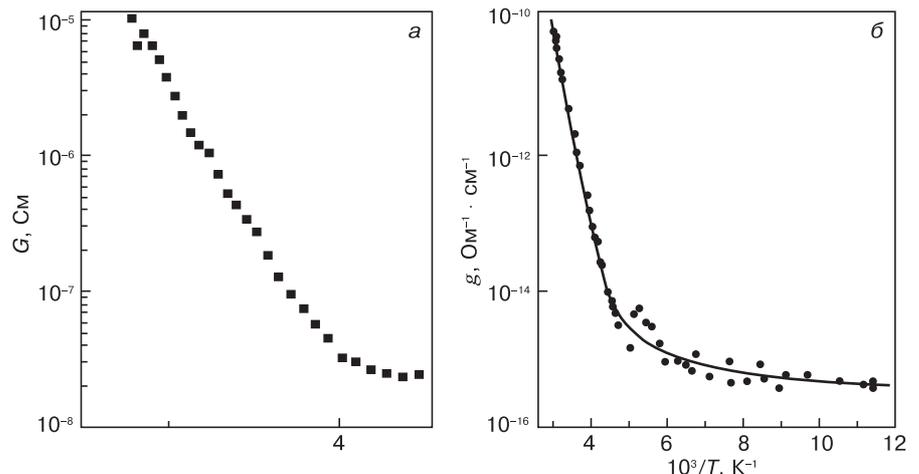


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости пористого (а) и аморфного [1] (б) кремния

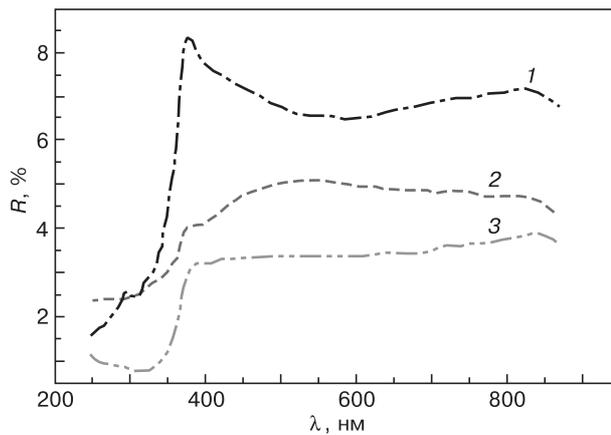


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента оптического отражения пористого кремния, полученного на «солнечном кремнии»:
 1 — HF : HNO₃ : H₂O = 4 : 1 : 3,5хв, R = 3,84 %;
 2 — HF : HNO₃ : H₂O = 4 : 1 : 4 3,5хв, R = 2,7 %;
 3 — HF : NaNO₂ : H₂O, 40 с, R = 1,86 %

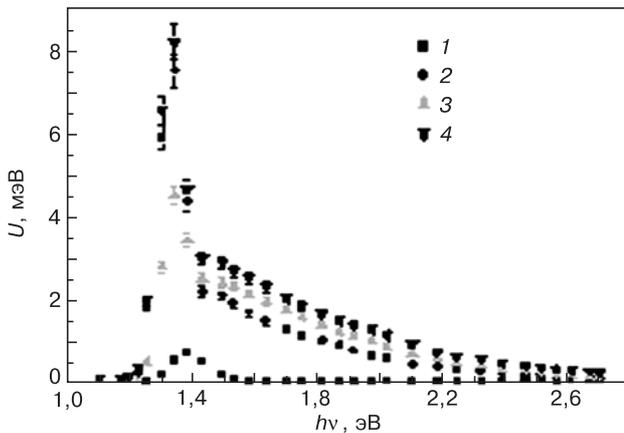


Рис. 3. Спектральная зависимость фотоотклика структуры Me/por-Si/Me:
 1 — c-Si; 2 — por-Si 10 с; 3 — por-Si 30 с; 4 — por-Si, 5хв

При комнатных и более высоких температурах наблюдается термоактивационная проводимость с энергиями термоактивации $\sim 0,4$ — $0,6$ эВ для пористых слоев, созданных на основе кремния p -типа проводимости, и $0,13$ — $0,15$ эВ для пористых слоев, созданных на основе кремния n -типа проводимости.

Изменения в морфологии поверхности приводят к значительному снижению интегрального коэффициента отражения (до 3—8 %) для слоев, полученных в HF : HNO₃ : H₂O, и 0,2—2% для слоев, полученных в HF : NaNO₂ : H₂O (рис. 2). Это свойство пористого кремния позволяет эффективно использовать его для создания антиотражающего покрытия в технологии фотоэлектрических преобразователей [2, 3].

Благодаря изменениям в характере проводимости и поглощению излучения пористые слои, даже при небольших толщинах (30—50 нм), демонстрируют заметное увеличение фотоотклика в высокоэнергетической области спектра (рис. 3). Также была отмечена зависимость положения края внутреннего поглощения от времени травления и его смещение с ростом времени травления с 1,14 до 1,26 эВ.

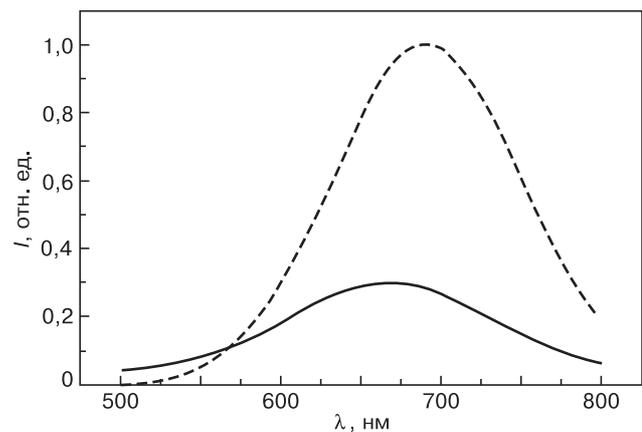


Рис. 4. Аппроксимированные спектры фотолюминесценции пористого кремния, полученного при разных условиях травления в HF : NaNO₂ : H₂O. Возбуждающая длина волны 365 нм

В целом пористый кремний, полученный химическим травлением, обладает всеми свойствами, присущими пористым слоям, полученным электрохимическим травлением, в частности фотолюминесценцией в видимой области спектра с максимумом на длине волны 650—700 нм. В травителе HF : NaNO₂ : H₂O были сформированы пористые слои кремния, характеризующиеся двумя типами спектров фотолюминесценции: однородным, с максимумом на длине волны 690—700 нм, и неоднородным, с максимумом в области 650—670 нм (рис. 4) [4].

Заключение

Показано, что пористые слои кремния, полученные химическим травлением, обладают высокой пористостью и по своим электрическим свойствам подобны аморфному кремнию. Им также присуща типичная для пористого кремния фотолюминесценция в видимой области спектра, значительное уменьшение коэффициента отражения и повышение поглощения в коротковолновой области спектра.

Установлено, что слои пористого кремния, полученные химическим травлением, могут успешно применяться как альтернатива пористым слоям, полученным электрохимическим травлением в случаях, когда необходимо создание пористого слоя на большой площади.

Библиографический список

1. Мотт, Н. Электронные процессы в некристаллических веществах / Н. Мотт, Э. Дэвис. — М.: Мир, 1974. — 472 с.
2. Zettner, J. Porous silicon reflector for thin silicon solar cells / J. Zettner, H. v. Campe, M. Thönissen, R. Auer, J. Ackermann, T. Hierl, R. Brendel, M. Schulz // Proc. 2nd World Conf. and Exhibition on photovoltaic. — Luxembourg, 1998. — P. 1766—1769.
3. Bilyk, T. Yu. Improvement of silicon solar cells performance by using of nanostructured silicon layer / T. Yu. Bilyk, M. M. Melnichenko, O. M. Shmyryeva, K. V. Svezhentsova // Электроника и связь. — 2010. — Т. 6, № 2. — С. 101—105.
4. Білик, Т. Ю. Фотолюмінесценція шарів пористого кремнію отриманого хімічним способом / Т. Ю. Білик // Электроника и связь. — 2011. — № 4. — С. 45—47.