

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АМОРФНЫХ  
КРЕМНИЕВЫХ ПЛЕНКАХ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ВОДОРОДА В ПЛАЗМЕ**

**М.А. Быков, А.М. Быков\*, А.С. Мазинков\*, Н.И. Слипченко**  
*Харьковского национального университета радиоэлектроники, г.Харьков*  
*пр-т Ленина, 14, г.Харьков, Украина,*  
*\*Таврический национальный университет, г.Симферополь*  
*пр. Вернадского, 4, г. Симферополь, АР Крым*

*Представлены результаты исследования влияния концентрации водорода в аргоново-водородной плазме на электрические и оптические свойства пленок аморфного гидрогенизированного кремния, полученных методом магнетронного распыления при площади до 30 см<sup>2</sup>. Значения оптической ширины запрещенной зоны и энергии активации, выращенных гидрированных полупроводниковых слоев, увеличились от 1,69 эВ до 1,75 эВ и от 0,15 эВ до 0,25 эВ, соответственно. Однако, увеличение водорода в кремниевой структуре привело к размытию спектра и уменьшению коэффициента поглощения.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Пленки аморфного гидрогенизированного кремния наиболее часто используются в качестве активных слоев различного рода микроэлектронных приборов: тонкопленочные транзисторы, активные и пассивные датчики, солнечные фотоэлектрические элементы и т.д. Приборы на его основе уже широко используются [1,2]. Однако технологические сложности получения дешевого и гибкого производства структур еще существенно тормозят объемы выпускаемой продукции. При этом основная трудность – оптимальное пассивирование кремниевой матрицы водородом. Для методов эпитаксиального роста и ионных методов распыления, этот вопрос проблематичен из-за сложности введения водорода в аморфную пленку кремния. Это связано с тем фактом, что в процессе распыления одиночные кремниевые атомы и многоатомные комплексы нейтральны, следовательно, слабо вступают во взаимодействие с молекулами водорода. В то время как при плазмохимическом методе разрушение молекулярного соединения SiH<sub>4</sub>, приводит к перенасыщению плазмы комплексами Si-H, H-Si-H и их более сложными модификациями. Поэтому гибкость и технологичность магнетронного метода, к сожалению, теряют свои преимущества перед плазмохимическим методом вследствие плохой гидрации.

Следовательно, проблема получения пленок a-Si:H с оптимальной концентрацией водорода, имеющей порядок концентрации оборванных кремниевых связей, важна не только с позиций оптимизации оптоэлектронных свойств a-Si:H и совершенствования параметров приборов на их основе, но и с точки зрения исследования многокомпонентного однофазного материала с минимальной концентрацией дефектов в неупорядоченной структурной сетке и построения различных его модификаций.

Целью нашего исследования является возможность совершенствования магнетронного метода получения кремниевых пленок, увеличение вероятности взаимодействия его нейтральных атомов с водородом для дальнейшего образования Si-H и H-Si-H связей и осаждением их на подложку.

Другим фактором, стимулирующим данное исследование, была попытка разработать технологические приемы получения слоистых структур на основе аморфного гидрированного кремния в едином автоматизированном цикле, позволяющем строить дешевые оптоэлектронные приборы за относительно короткое время в гибкой цепочке с использованием серийного промышленного оборудования.

#### ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Рабочие образцы двухслойных структур с омическими контактами представлены на рис.1.

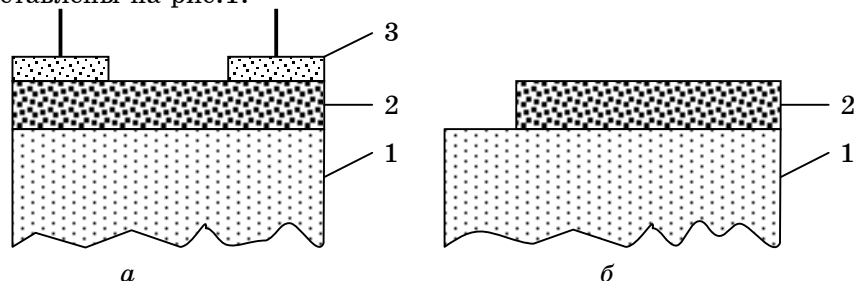


Рисунок 1 - Рабочие образцы для исследования электрических параметров (а) и оптических характеристик (б): где 1 – подложка, 2 – рабочий слой, 3 – омический контакт

Для проверки возможности управления степенью гидрации аморфной пленки менялась объемная концентрация водорода в камере. Одновременно были проверены возможные варианты недорогих подложек: латунь, титан, серебро, бериллиевая бронза, алюминиевая фольга, стеклопрокат. Подложки выбирались из соображения стоимости и доступности для промышленных объемов. Одним из условий выбора типа материала подложки была способность выдерживать температуры порядка 250-350 °С. При этом металлические, т.е. проводящие, подложки также играли роль токособирающего тыльного контакта, а диэлектрические подложки, обладая оптической прозрачностью, служили защитным экраном от внешних воздействий для тонких пленок. В качестве базовых использовались подложки на основе ситала (ЩЕО 781 001 0У, ЩУ 7. 817 002-15, Ст-50-1-1-0.6) и специализированного плоскопараллельного стекла. Толщины стеклянных подложек варьировались от 0,1 до 5 мм при площадях от 1 до 30 см<sup>2</sup>.

Полупроводниковые пленки а-Si и а-Si:H были получены в магнетронной установке типа УРМЗ.279.026, при давлении в рабочей камере 10<sup>-2</sup> – 10<sup>-3</sup> Па, напряжениях и токах мишени, соответственно, 500-650В и 1,5-2А. В зависимости от режимов, скорость роста составляла 0,1-0,4 мкм/мин. Для снятия электрических характеристик, дополнительно наносились симметричные алюминиевые омические контакты с использованием пленочных и металлических масок.

Тем не менее, тип и качество подложек значительно повлияли на электрические характеристики пленок (рис.2). Так температурные зависимости имели большие значения проводимости для пленок, нанесенных на металлические подложки, обработка поверхности которых была хуже, чем у стеклопроката и ситаловых пластин (кривая 1.0). Улучшение качества обработки поверхности стеклянных и ситаловых подложек дало уменьшение проводимости до значений 5·10<sup>-6</sup> – 10<sup>-6</sup> S/см (кривые 1.1 и 1.2). Энергия активации проводимости при этом возрастала от 0,08 эВ до 0,13-0,15 эВ.

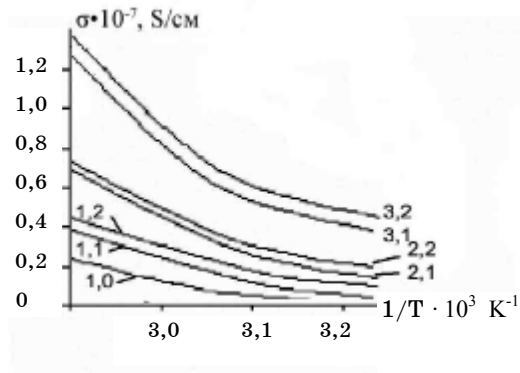


Рисунок 2 - Температурная зависимость проводимости *a-Si* пленок: 1.0 – образцы на металлических подложках; 1.1, 2.1, 3.1 – образцы на стеклянных подложках; 1.2, 2.2, 3.2 – на ситалловых подложках

Увеличение энергии активации удалось добиться так же, введением водорода в камеру (кривые 2.1, 2.2, 3.1, 3.2). При этом прослеживается прямая зависимость роста энергий активации с увеличением концентрации водорода в камере (кривые 2.1, 2.2, – 30%  $H_2$  в рабочей камере и 3.1, 3.2 – 40%  $H_2$ ). Для некоторых образцов энергия активации достигала 0,20 – 0,25 эВ при концентрации водорода в плазме до 40 %, хотя скорость роста пленок уменьшилась до 0,1 мкм/мин. Естественным процессом гидрирования и увеличения концентрации водорода в выращенных пленках явилось изменение спектральных оптических характеристик (рис.3). Увеличение оптической ширины запрещенной зоны обусловлено удалением части локализованных состояний из хвостов в запрещенной зоне, что в свою очередь обязано эффективному гидрированию кремниевой матрицы в процессе роста пленок. Так же, в связи с уменьшением числа локализованных состояний поглощающая способность пленки уменьшилась.

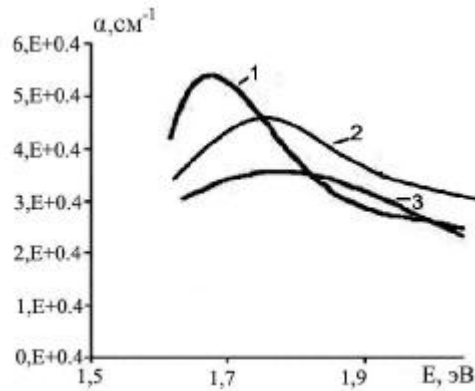


Рисунок 3 - Спектр поглощения кремниевых пленок на ситалловых подложках: в чистой аргонной среде (кривая 1), аргонно-водородной среде при концентрации водорода 30% (кривая 2), аргонно-водородной среде при концентрации водорода 40% (кривая 3)

Размытие спектра и его смещение в коротковолновую часть на 0,1-0,15 эВ связано с появлением дополнительных колебательных центров Si-H и H-Si-H в аморфной гидрированной структуре.

Длинноволновые ИК спектры (рис.4) также подтверждают полученные результаты. Первичные колебательные моды характеризовались остаточными газами водорода, кислорода и т.д. в полупромышленной вакуумной установке. Дополнительные технические приемы позволили уменьшить их концентрацию, однако это привело к увеличению стоимости процесса.

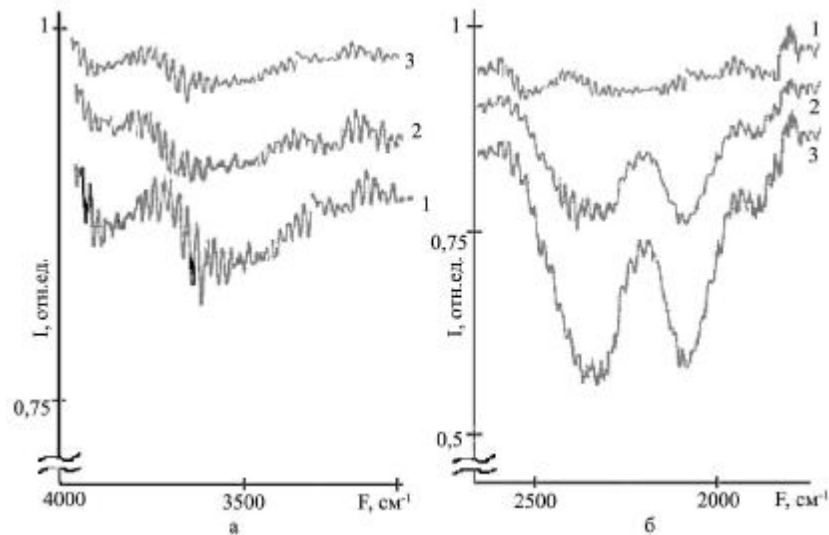


Рисунок 4 - ИК спектр поглощения пленок полученных в среде аргона (кривая 1) и в аргоново-водородной смеси газов при концентрации водорода 30% (кривая 2) и при концентрации водорода 40% (кривая 3) на стеклянных подложках

Увеличение водорода в рабочем объеме позволило повысить концентрацию колебательных Si-H центров (рис. 4б) и уменьшить влияние Si-OH компонент (рис. 4а). Естественно, увеличение концентрации водорода в камере привело к увеличению водорода в пленке. Из проведенных исследований следует, что пределом подобного возрастания концентрации является максимальная концентрация водорода в газовой смеси, определяемая возможностью поджога плазмы.

Подробно исследованные в [5] валентные колебания моногибридных групп, локализованных на поверхностях монокристаллического и аморфного кремния, имеют частоты  $\sim 2100 \text{ см}^{-1}$ . Кроме того, в ИК - спектрах аморфного гидрогенизированного кремния могут быть дискретные линии на 2140, 2100, 2085, 2068  $\text{см}^{-1}$  в отсутствие поглощения при 800-950  $\text{см}^{-1}$ . Таким образом, спектры (рис. 4) свидетельствуют о том, что в аморфном гидрогенизированном кремнии присутствуют, по крайней мере, два типа моногибридных групп, имеющих линии поглощения при 2100 и 2300  $\text{см}^{-1}$  (рис. 4б). Колебательные моды на частоте  $\sim 2300 \text{ см}^{-1}$ , могут быть обусловлены взаимодействием кремния с кислородом, который частично оставался в камере. Появление поглощения в области частот 2170-2300  $\text{см}^{-1}$ , обычно приписывают моногибридным группам Si-O-Si-H, в которых атомы водорода и кислорода связаны с общим атомом кремния.

Наблюдение в длинноволновом инфракрасном диапазоне только пиков 2100 и 2300  $\text{см}^{-1}$  говорит о недостаточном количестве Si-H и H-Si-H

связей в полученных образцах. Естественным следствием этого является слабое гидрирование пленки и относительно малые энергии активации, составляющие в максимуме 0,25 эВ по сравнению с аналогичными образцами полученными разложением SiH<sub>4</sub>.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установочные предположения о возможности использования метода магнетронного распыления для получения активных слоев тонкопленочных полупроводниковых приборов большой площади, вполне реальны. А задача эффективного гидрирования аморфной структуры, при этом, основывается на взаимодействии выбиваемых кремниевых атомов с аргоново-водородной плазмой.

Установлено, что варьирование концентрации водорода в рабочей камере дало возможность более целенаправленно гидрировать кремниевую пленку в процессе роста и тем самым постепенно изменять ширину оптической зоны. Малые кинетические параметры, обусловленные недостаточной концентрацией водорода в полученных образцах, требуют дальнейшего увеличения степени гидрации. То есть, расщепление молекулярного H<sub>2</sub> и дополнительное возбуждение его атома, что приводит к увеличению пар Si-H в осаждаемом молекулярном потоке.

#### SUMMARY

##### RESEARCHES PHYSICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS SILICON FILMS DEPENDING ON CONCENTRATION OF HYDROGEN IN PLASMA

**Bykov M.A., Bykov A.M.\*, Mazinov A.S.\*, Slipchenko N.I.**

*Kharkov National University of Radioelectronics*

*\*Vernadskiy Tavricheskiy National University*

*Researches and presented influence of various concentration of hydrogen in argon-hydrogen plasma on electric and optical properties of the tapes of hydrogenated amorphous silicon, received by method magnetron dispersions are submitted at the area of film up to 30 sm<sup>2</sup>. Values of optical width of the forbidden zone and energy of the activation, the brought up hydrogenated semi-conductor layers, have increased from 1,69 eV till 1,75 eV and from 0,15 eV till 0,25 eV, accordingly. However, the increase in hydrogen in silicon structure has led to to degradation of a spectrum and reduction of factor of absorption.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vivek Subramanian, Krishna C. Saraswat. Optimization of Silicon-Germanium TFT's Through the Control of Amorphous Precursor Characteristics // IEEE Transactions on Electron Devices.-1998.- Vol. 45, №.8.-P.1690 -1695.
2. K. S. Karim, A. Nathan, J. A. Rowlands. Amorphous Silicon Active Pixel Sensor Readout Circuit for Digital Imaging// IEEE Transactions on Electron Devices.- 2003. - Vol. 50, № 1. - P.200-208.
3. Nascetti A., Caputo D. Amorphous Silicon Phototransistor as Nonlinear Optical Device for High Dynamic Range Imagers // IEEE Transactions on Electron Devices.-1999.- Vol. 49, №.3.-P.395-399.
4. Frank F.R., Faller A. H. High-Temperature CVD for Crystalline-Silicon Thin-Film Solar Cells// IEEE Transactions on Electron Devices.-1999.- Vol. 46, № 10.-P.2048-2054.
5. Онищук А.А., Панфилов В.Н. Механизм термического разложения силанов// Успехи химии. – 2001. - №70(4).- С.368-379.

**Быков М.А.**, младший научный сотрудник  
каф. МЭПУ:

**Быков А. М.**, кандидат физ.-мат. наук, доцент  
кафедры общей физики;

**Мазинов А. С.**, кандидат техн.наук, доцент  
кафедры радиофизики и электроники

**Слипченко Н. И.**, профессор

*Поступила в редакцию 5 июня 2008 г.*