

УДК 621.315.592

## О ПРИРОДЕ НЕМОНОТОННОЙ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК $\alpha$ -Si:H ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

И. А. Курова, Н. Н. Ормонт

(кафедра физики полупроводников)

Исследовано влияние интенсивности освещения на кинетику изменения темновой проводимости ( $\sigma_d$ ) нелегированных и слабо легированных бором пленок  $\alpha$ -Si:H во время и после освещения. Установлено, что при больших интенсивностях света кинетика немонотонна, при малых — монотонна. Показано, что зависимость кинетики изменения  $\sigma_d$  от интенсивности освещения пленки может быть объяснена процессами образования и теплового отжига фотоиндуцированных оборванных связей (ОС) и активацией и деактивацией примесей без участия процесса светового отжига ОС.

В предыдущей работе [1] нами было показано, что изменения темновой проводимости ( $\sigma_d$ ) легированных и нелегированных пленок  $\alpha$ -Si:H во время и после освещения при повышенных температурах могут быть немонотонными: во время освещения вначале наблюдается быстрый спад проводимости, затем ее медленное увеличение; соответственно после освещения проводимость вначале быстро растет, затем медленно уменьшается. Известно [2], что монотонное уменьшение  $\sigma_d$  при освещении и монотонное увеличение ее после освещения обусловлены соответственно образованием и тепловым отжигом фотоиндуцированных метастабильных оборванных связей кремния (ОС). Для объяснения немонотонной кинетики изменения  $\sigma_d$  мы предположили, что существуют два типа фотоиндуцированных метастабильных состояний (ФМС): быстрые процессы обусловлены образованием и отжигом нейтральных оборванных связей кремния, медленные процессы — активацией и деактивацией примесей (в нелегированных пленках — активацией и деактивацией неконтролируемых примесей — кислорода, азота, углерода). Однако в последнее время в ряде работ [3–5] обсуждается возможность светового отжига метастабильных ОС, что может приводить к немонотонному изменению проводимости и других параметров пленок  $\alpha$ -Si:H. Так, в работе [5] экспериментально наблюдалось немонотонное изменение сигнала ЭПР, пропорционального концентрации нейтральных ОС, во время освещения светом большой интенсивности нелегированных пленок  $\alpha$ -Si:H. При малой интенсивности света наблюдалось только увеличение сигнала ЭПР со временем и последующее насыщение его при большой длительности освещения. Авторы [5] предположили, что быстрый рост сигнала ЭПР в начале освещения связан с образованием метастабильных ОС, а последующий медленный спад при больших интенсивностях — со световым отжигом ОС.

В настоящей работе представлены результаты исследования кинетики изменения темновой проводимости  $\sigma_d$  пленок  $\alpha$ -Si:H под влиянием освещения раз-

личной интенсивности с целью выяснения природы наблюдаемой немонотонной кинетики  $\sigma_d$  исследованных пленок.

№	Место изготовления	$T_s$ , °C	$N_B$ , см <sup>-3</sup>	$E_\sigma$ , эВ
1	ГИРЕДМЕТ, Москва	250	—	0,74
2	ГИРЕДМЕТ, Москва	300	$1 \cdot 10^{17}$	0,83

Были исследованы нелегированные и слабо легированные бором пленки  $\alpha$ -Si:H, полученные методом осаждения в плазме ВЧ тлеющего разряда при температурах подложек  $T_s = 250$ – $300^\circ\text{C}$ . В таблице представлены параметры исследованных пленок и место их изготовления. Измерялась кинетика изменения темновой проводимости  $\sigma_d(t)$  пленок во время освещения и после его выключения. Кривые релаксации  $\sigma_d$  после освещения обрабатывались в предположении, что величина  $\lg \sigma_d(t)/\sigma_{d0}$  пропорциональна изменению положения уровня Ферми  $\Delta F$  во времени и при условии постоянства плотности состояний в области изменения  $\Delta F(t)$  отражает изменение концентрации ФМС  $N$  во времени:

$$\lg(\sigma_d(t)/\sigma_{d0}) \sim \Delta F(t) \sim N(t)$$

( $\sigma_{d0}$  — равновесная темновая проводимость исследуемой пленки). Измерения проводились в интервале температур 380–460 К. Интенсивность освещения от галогенной лампы с ИК фильтром менялась с помощью нейтральных фильтров.

На рис. 1 показана кинетика изменения  $\sigma_d(t)$  пленки № 1 (для пленки № 2 результаты аналогичны) при  $T = 460$  К во время освещения ее светом различной интенсивности: кривые 1 и 2 соответствуют интенсивностям  $W = 90$  и  $4$  мВт/см<sup>2</sup>. Видно, что при большой интенсивности света зависимость  $\sigma_d(t)$  немонотонна. Ее можно представить как сумму двух зависимостей  $\sigma_d(t)$ , изображенных на рис. 1 штриховыми линиями (3 и 4). Первая из них обусловлена

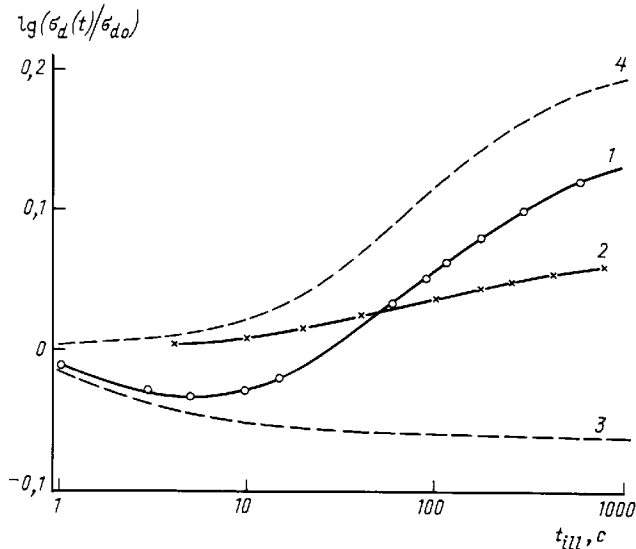


Рис. 1. Кинетика изменения темновой проводимости пленки № 1 во время освещения светом разной интенсивности при  $T = 460$  К:  $W = 90$  (1) и  $4$  мВт/см<sup>2</sup> (2). Кривая 1 может быть представлена как сумма кривых 3 и 4, соответствующих образованию двух различных типов ФМС

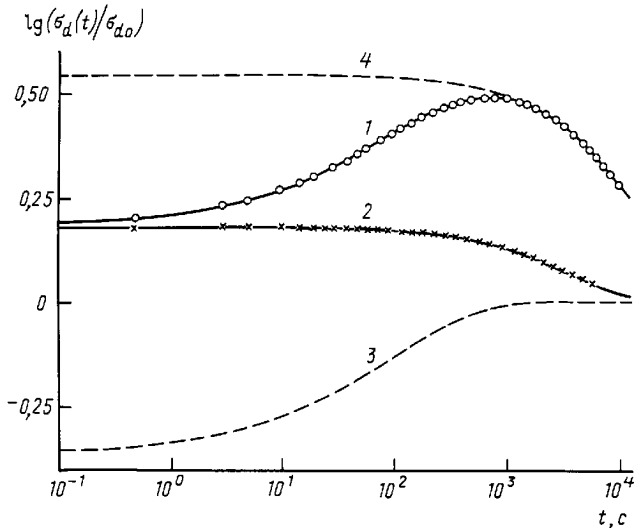


Рис. 2. Кинетика релаксации темновой проводимости пленки № 2 при  $T = 400$  К после выключения освещения разной интенсивности и длительности:  $W = 90$  мВт/см<sup>2</sup>,  $t_{ill} = 5$  с (1) и  $W = 4$  мВт/см<sup>2</sup>,  $t_{ill} = 300$  с (2). Кривые 3 и 4 представляют быструю и медленную релаксацию  $\sigma_d$ , и их сумма определяет кривую 1

процессами образования и теплового отжига фотоиндуцированных ОС, и стационарность ее отражает равенство скоростей генерации и отжига ОС при больших временах освещения  $t_{ill}$ . Вторая зависимость  $\sigma_d(t)$  (кривая 4) обусловлена процессом активации примесей при освещении [1]. В случае нелегированной пленки, имеющей электронную проводимость, это могут быть неконтролируемые приме-

си кислорода, азота и углерода, образующие донорные уровни в верхней половине запрещенной зоны. При малой интенсивности освещения мы наблюдаем только второй процесс (кривая 2), первый же процесс, связанный с образованием фотоиндуцированных ОС, отсутствует. Кинетика изменения  $\sigma_d$  во время освещения светом с разной интенсивностью коррелирует с кинетикой релаксации  $\sigma_d$  исследованных пленок после освещения. На рис. 2 приведены кривые релаксации  $\sigma_d$  для пленки № 2 (для пленки № 1 зависимости аналогичны). Видно, что кинетика релаксации  $\sigma_d$  после освещения светом большой интенсивности немонотонна (кривая 1). Она отражает релаксацию ФМС двух типов (кривые 3 и 4). После освещения пленки светом малой интенсивности кинетика релаксации  $\sigma_d$  монотонна (кривая 2) и соответствует медленному процессу, связанному с тепловым отжигом активированных примесей.

Отсутствие быстрых процессов изменения  $\sigma_d$  при малых интенсивностях освещения и после его выключения обусловлено следующим. Энергия активации отжига ОС меньше, чем энергия активации отжига медленных ФМС [1]. Поэтому в исследованной области температур скорость отжига фотоиндуцированных ОС велика, а скорость генерации при малой интенсивности освещения мала (следовательно, стационарная концентрация фотоиндуцированных ОС практически равна нулю). Для медленных ФМС скорость отжига мала, поэтому при большой длительности освещения даже при малой интенсивности освещения пленок концентрация ФМС становится заметной.

Таким образом, в данной работе установлено, что зависимость кинетики изменения  $\sigma_d$  от интенсивности освещения пленки может быть объяснена процессами образования и теплового отжига фотоиндуцированных оборванных связей и активацией и деактивацией примесей без участия процесса светового отжига оборванных связей.

Настоящая работа поддержана научно-техническими программами «Университеты России» и Госкомвуза РФ в области фундаментального естествознания (грант 95-0-71-153).

#### Литература

1. Курова И.А., Ормонт Н.Н., Сенашенко Д.В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1997. № 2. С. 28 (Moscow University Phys. Bull. 1997. No. 2).
2. Stutzmann M., Jackson W.B., Tsai C.C. // Phys.Rev. 1985. **B32**. P. 23.
3. Redfield D. // Appl. Phys. Lett. 1986. **49**. P. 1517.
4. Meaudre R., Meaudre M., Vignoli S. // Phys.Rev. 1994. **B49**. P. 1716.
5. Takeda K., Hikita H., Kimura Y. et al. // Japan J. Appl. Phys. 1997. **36**. P. 991.

Поступила в редакцию  
24.11.97