

Ljutovič, A. S.:

Durch Abscheidung ionisierter Cluster gewonnene Solarzellen

Deutsche Auszugsübersetzung aus:

Ionno-aktivirovannaja kristallizacija plenok. Taškent: FAN, 1982, S. 134 - 136.
(Akademie der Wissenschaften der Uzbekischen SSR. U. A. Arifov-Elektronik-Institut)

Russisch:

Солнечные элементы, полученные осаждением ионизированных кластеров

Solnečnye élementy, polučennye osaždeniem ionizirovannyh klasterov

§ 3. Durch Abscheidung ionisierter Cluster gewonnene Solarzellen

Wenn sich ionisierte Cluster aus einem Strahl abscheiden, wird ihre kinetische Energie durch die Beschleunigungsspannung kontrolliert; im Ergebnis erhöhen sich die Wärmeenergie, Zerstäubung und Implantation auf der Substratoberfläche. Außerdem wird die Abscheidung von ionisierten Clustern aus dem Strahl durch eine verstärkte Ionenwanderung entlang der Substratoberfläche charakterisiert. Dieses Verfahren läßt sich zweckmäßig bei der Züchtung von einkristallinen Schichten und der Abscheidung von Schichten mit verbesserter Qualität einsetzen.

Das Verfahren wurde hinsichtlich der Bildung der Cluster, deren Größe und Ionisationseigenschaften erforscht [86; 87]. Untersucht wurden: das Strukturprofil am Interface (mittels Ionenrückstreuverfahren), die Sputter- und Atomwanderungseffekte entlang der Substratoberfläche (mit Hilfe des Elektronenmikroskops), der Implantationseffekt (durch das neutronenaktivierte Analyseverfahren) und einige Eigenschaften der Bauelemente auf der Grundlage des *p-n*-Übergangs.

In der Arbeit [130] werden das Prinzip und die Epitaxietechnologie für die Abscheidung ionisierter Cluster aus dem Strahl sowie die Eigenschaften der Schicht betrachtet. Es wird die Verbindung zwischen den Eigenschaften der abgeschiedenen Schicht und den Fotoeigenschaften der Dioden auf der Grundlage des *p-n*-Übergangs und der Schottky-Barriere gezeigt.

Das Verfahren zur Abscheidung ionisierter Cluster aus dem Strahl wurde bei der Erzeugung ohmscher Kontakte auf Siliziumsubstrat angewendet. Es zeigte sich, daß die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Elemente verbessert werden können, wenn Silber ohne Abscheidung von Mehrschichtfilmen oder Tempervverfahren auf Substratflächen des *n*- und *p*-Typs abgeschieden wird.

Bei Einsatz dieses Verfahrens geschieht folgendes:

1. Die Substratoberfläche wird unter dem Einfluß des Ionenbeschusses zerstäubt (Säuberung der Oberfläche und Tiefätzung).
2. Das zerstäubte Substratmaterial vermischt sich mit den verdampften Teilchen, infolge dessen bildet sich die Grenzschicht.
3. Die Zerstäubung dauert auch im Schichtbildungsprozeß an (Veränderung der Wachstumsmorphologie).
4. Der Substratoberfläche und der abgeschiedenen Schicht wird Wärmeenergie zugeführt - infolge der Umwandlung der kinetischen Energie der beschießenden Ionen - und es wird möglich, eine hohe Oberflächentemperatur zu erzeugen, ohne den ganzen Kristall zu erhitzen (Veränderung der Wachstumsmorphologie und Erhöhung der chemischen Reaktionsgeschwindigkeit).
5. Wegen der hohen Defektkonzentration durch den Zufluß hoher Energie erhöhen sich die innere und die Oberflächendiffusion.
6. Die Ionenimplantation wird möglich (Verstärkung der Grenzschichtbildung).
7. Die Keimbildung kann infolge der Wanderung der Abscheidungsteilchen beeinflusst werden.

Jeder dieser Effekte läßt sich durch Änderung der Arbeitsweise und durch Kombination des Clusterstrahls und des Substratmaterials kontrollieren.

Bei unterschiedlicher Beschleunigungsspannung [130] wurden Siliziumschichten auf einkristallinen Siliziumsubstraten und amorphen Kohlenstoffsubstraten erzeugt. Während der Abscheidung wurde ein Druck von $1,3-3,9 \cdot 10^{-4}$ Pa gehalten. Die Abscheidungsrate für die Siliziumepitaxie betrug 500-600 Å/min, bei Verwendung eines Tiegels mit nur einer Düse. Diese Geschwindigkeit läßt sich durch

Verwendung eines Systems mit mehreren Düsen, Auswahl eines besseren Tiegelmaterials und auch durch entsprechende Arbeitsweise erhöhen.

Bei einer Spannung von 0-6 kV ist die abgeschiedene Schicht ungefähr 650 Å dick. Die Schichtdicke verringert sich jedoch bei einer Spannung von 8 kV auf ungefähr 250 Å, im Zusammenhang mit der Zunahme des Zerstäubungseffekts, der durch die höhere Beschleunigung der ionisierten Makroteilchen hervorgerufen wird. Die kristallinen Eigenschaften der auf Einkristallsubstrat gezüchteten Siliziumschicht lassen sich verbessern, indem man die Beschleunigungsspannung erhöht. Bei Kohlenstoffsubstrat gibt es keine wesentlichen Veränderungen.

Die Metallabscheidung aus einem Strahl ionisierter Cluster kann genutzt werden, um einen stark dotierten Bereich oder zahlreiche Rekombinationszentren im Bereich der Grenzfläche von der Halbleiterseite aus zu schaffen.

Der ohmsche Kontakt zwischen dem Silizium des *n*-Typs und dem abgeschiedenen Silber wird bei einer Beschleunigungsspannung von 4 kV ohne Tempern erreicht. Bei Silizium des *p*-Typs erreicht man ihn, nachdem man die Proben, die bei einer Beschleunigungsspannung von ~4 kV abgeschieden wurden, bei einer Temperatur von 400°C getempert hat.

Es wurde festgestellt, daß die Abscheidung ionisierter Cluster aus dem Strahl ein effektives Verfahren zur Erzeugung von Elektroden für Solarzellen ist.

Bei der Epitaxie des ionisierten Clusterstrahls bilden sich Dünnschichten. Deswegen lassen sich Bauelemente mit flachen Übergängen herstellen. Auf der Grundlage des *p-n*-Übergangs wurden Solarzellen erzeugt und deren photovoltaische Eigenschaften gemessen. Ein solcher Übergang kann durch Abscheidung einer Siliziumschicht des *n*-Typs auf einem gleichartigen Substrat des *p*-Typs erzeugt werden (spezifischer Widerstand 6-11 Ω·cm, Orientierung (111) aus dem ionisierten Clusterstrahl bei unterschiedlichen Abscheidungsbedingungen). Die Kontaktelektrode gewinnt man durch herkömmliche Vakuumabscheidung. Abbildung 55 zeigt die Spektraleigenschaften der photovoltaischen Diode. Wie wir sehen, erhöht sich bei Verringerung der Dicke der abgeschiedenen Schicht die Empfindlichkeit. Die höchste Empfindlichkeit haben Einkristallschichten.

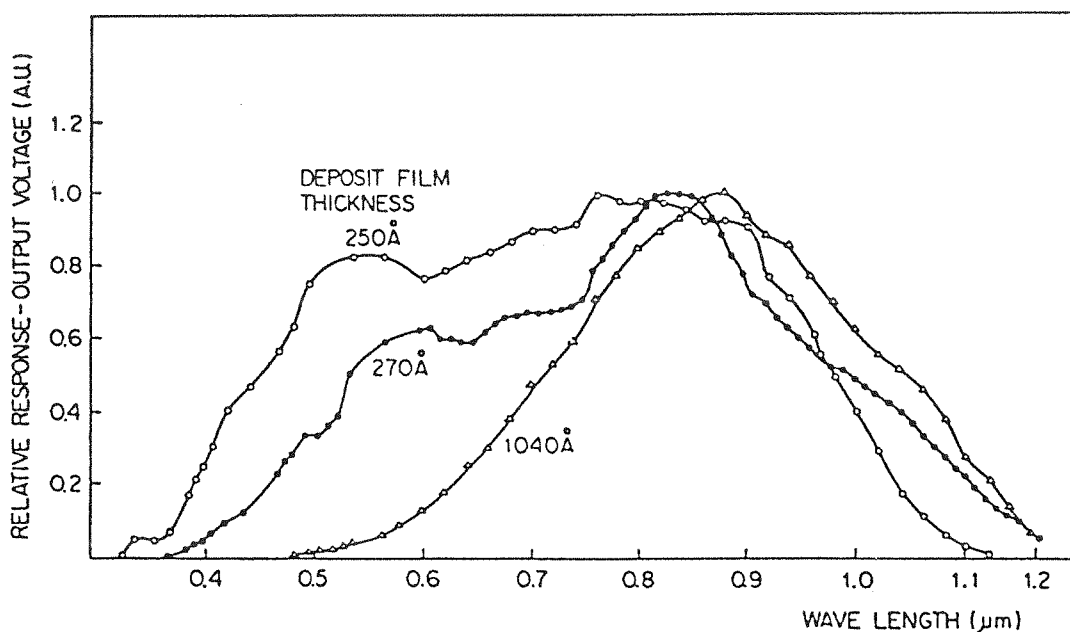


Abb. 55. Spektralempfindlichkeit für drei Schichtdicken und drei Kristallzustände (aus [86] S. 215, d. Ü.)

In Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen zur Abhängigkeit der Kristallqualität von der Spannung verbessert sich die Spektralempfindlichkeit mit steigender Beschleunigungsspannung. Das bestätigen auch die Strom-Spannungskennlinien der Fotoelemente.

Mit Hilfe dünner leitender Schichten mit guter Adhäsion und ohmscher Kontaktschichten, die durch das Abscheidungsverfahren ionisierter Cluster aus dem Strahl ohne Tempern gewonnen wurden, lassen sich Kontaktelektroden und Bauelemente mit guten Eigenschaften bei geringen Verlusten erzeugen.

Die besten Eigenschaften haben Schichten, die aus dem ionisierten Clusterstrahl bei 6 kV abgeschieden wurden. Zur Herstellung des ohmschen Kontaktes und des *n-p*-Übergangs ist es erforderlich, zwei Prozesse miteinander zu kombinieren - die Siliziumepitaxie und das Abscheiden der Metallschicht.

Literatur

[86] Takagi, T.; Yamada, J.; Sasaki, A.: An Evaluation of Metal and Semiconductor Films Formed by Ionized-Cluster Beam Deposition. In: Thin Solid Films, 1976, vol. 39, p. 207-217. /Engl./

[87] Cornely, R. H.; Mumtaz, A.J.; Fuschillo, N.: Nucleation and Growth of RF Triode-Sputtered Gold Films. In: The Journal of Vacuum Science and Technology, New York: publ. by the American Institute of Physics, 1975, vol. 12, p. 693-696. /Engl./

[130] Takagi, T.; Yamada, I.; Sasaki, A.: Solar Cells by Ionized-Cluster Beam Deposition and Epitaxial Techniques. In: Proceedings of the 7th International Vacuum Congress and the 3rd International Conference on Solid Surfaces of the International Union for Vacuum Science, Technique and Applications: September 12-16, 1977, Congress Centre Hofburg Vienna, Austria/ Hrsg. von R. Dobrozemsky, Wien, 1977, Bd. 3 S. 1915-1922. /Engl./

Stuttgart, den 11. 02. 1999

Übersetzt von:



Sören Ludwig



Ottmar Pertschi
(Diplomübersetzer)